



TESIS DOCTORAL

LABORATORIO REMOTO DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA INTEGRADO EN REDES DE
GENERACIÓN DISTRIBUIDA

DAVID BORGE DIEZ

Ingeniero Industrial por la Universidad de Valladolid

Tesis presentada en el

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y CONTROL
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

como parte de los requerimientos para la obtención del

Grado de Doctor

2012

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
CONTROL

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Título de la Tesis:

LABORATORIO REMOTO DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA INTEGRADO EN REDES DE
GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Autor:

DAVID BORGE DIEZ

Ingeniero Industrial por la Universidad de Valladolid

Director de la Tesis:

Dr. D. ANTONIO COLMENAR SANTOS

Agradecimientos:

A mi abuelo, él me enseñó a ser lo que soy.

A mi madre, porque siempre ha creído en mí.

A Carmen, por quererme como soy y por ser como es.

“La libertad, Sancho, es uno de los más preciosos dones que a los hombres dieron los cielos; con ella no pueden igualarse los tesoros que encierra la tierra ni el mar encubre; por la libertad, así como por la honra, se puede y debe aventurar la vida, y, por el contrario, el cautiverio es el mayor mal que puede venir a los hombres. Digo esto, Sancho, porque bien has visto el regalo, la abundancia que en este castillo que dejamos hemos tenido; pues en mitad de aquellos banquetes sazonados y de aquellas bebidas de nieve, me parecía a mí que estaba metido entre las estrechezas de la hambre, porque no lo gozaba con la libertad que lo gozara si fueran míos; que las obligaciones de las recompensas de los beneficios y mercedes recibidas son ataduras que no dejan campear al ánimo libre. ¡Venturoso aquél a quien el cielo dio un pedazo de pan, sin que le quede obligación de agradecerlo a otro que al mismo cielo!”. (El ingenioso caballero Don Quijote de la Mancha, segunda parte. Miguel de Cervantes Saavedra).

“La pólvora no explota sin estar comprimida; la cautividad ha reunido en un solo punto mis facultades y han entrado en contacto en un espacio reducido, y como no ignoráis, del choque de las nubes resulta la electricidad, de la electricidad el rayo, y del rayo la luz”. (El Conde de Montecristo, Alejandro Dumas).

“Podría estar encerrado en una cáscara de nuez y sentirme rey de un espacio infinito”. (Hamlet, William Shakespeare).

RESUMEN

La mejora de la eficiencia energética es una necesidad creciente y supone, además, un pilar estratégico para asegurar la sostenibilidad energética y también económica del modelo actual. A partir de esta necesidad surgen otras dependientes pero no por ello menos importantes: proporcionar formación en la materia a futuros profesionales, a personal en activo y al público en general. La técnica está avanzando a gran velocidad proporcionando soluciones, equipos y dispositivos que permiten reducir el consumo energético pero hay que introducir estos conceptos y tecnologías en todos los ámbitos de la sociedad.

Dentro de este marco mundial en Europa y España se están llevando a cabo políticas de incentivación de la mejora de la eficiencia energética. Estas políticas incluyen como estrategia básica la reducción de la demanda energética y la posterior implementación de tecnologías con mayor eficiencia energética. La necesidad creciente de formación en esta materia requiere de la capacidad de contar con sistemas de laboratorios y de realización de ensayos y experimentos para proporcionar docencia con un alto contenido práctico y orientado a resultados. Los laboratorios remotos constituyen una solución que permite el acceso transversal a un amplio público sin limitación por razones de distancia, coste o conocimientos. Numerosos desarrollos de laboratorios remotos se han venido llevando a cabo en los últimos años, especialmente en el ámbito formativo de los sistemas de control, electrónica, electricidad y automática. La eficiencia energética tiene un componente formativo teórico importante pero también está directamente relacionada con aspectos de gestión, operación y supervisión. La posibilidad de realizar análisis sobre mejora de la eficiencia energética utilizando instalaciones reales permitirá mejorar la capacidad docente, la calidad de la formación y facilitará la difusión de las tecnologías.

El nuevo concepto de Smart Grid implica un desarrollo creciente de sistemas de comunicación y de transmisión de información de parámetros energéticos. Ante estas dos situaciones, una necesidad y un nuevo desarrollo, surge la propuesta de laboratorio remoto que se presenta: ¿por qué no aprovechar todo ese flujo de información para permitir que se puedan realizar ensayos y acciones formativas a partir de datos de instalaciones reales?.

Se propone en esta tesis doctoral un nuevo concepto de laboratorio remoto en el que las instalaciones físicas para la realización de ensayos son instalaciones reales de

cualquier tipología, tamaño y sector que se encuentran integradas en la red del laboratorio. A partir de este flujo de información se obtienen datos para la realización de ensayos que permiten analizar los parámetros energéticos, proponer acciones de mejora, realizar un seguimiento del efecto logrado y seguir un proceso de mejora continua.

El modelo de laboratorio no tiene obsolescencia programada ya que es actualizable de forma ilimitada, no está ligado al uso de ningún sistema ni herramienta de software y es desarrollable a medida para cada necesidad. Se presenta un nuevo concepto formativo orientado a la distancia presencial, a distancia o a la investigación y desarrollo de nuevas soluciones que es capaz de suplir las carencias que existen en la actualidad en el ámbito de la formación experimental y práctica en eficiencia energética.

Además esta herramienta ha de servir como sistema formativo en materia de eficiencia energética en un ámbito de cooperación al desarrollo y ser un facilitador de la mejora en este ámbito en la propia calidad de vida de las personas. La plataforma permitirá no sólo abordar acciones docentes sino servir como entorno de investigación y desarrollo en soluciones para este ámbito.

SUMMARY

Improving energy efficiency is a growing need and is also a strategic issue to ensure energy and economic sustainability of the current model. From this need arise other needs that are also extremely important: to provide training in energy efficiency techniques to future professionals, active staff and the general public. The fast advancing technology in this matter is providing solutions, equipment and devices that reduce energy consumption but it is also needed to introduce these concepts and technologies in all areas of society.

Within this global framework, in Europe and Spain are ongoing incentive policies for improving energy efficiency. These policies include strategies to reduce energy demand as the basis and the subsequent implementation of energy efficient technologies. The growing need for training in this area requires develop systems, laboratory tests and experiments to provide teaching with a high practical content and results-oriented. The remote labs are a solution that allows cross access to a wide audience without limitation because of distance, cost and expertise. Many developments of remote laboratories have been carrying out in recent years, especially in the educational field of control systems, electronics, electrical and automatic. Energy efficiency has an important theoretical training component but is also directly related to aspects of management, operation and monitoring. The ability to perform analysis by using actual facilities will be a key to improving energy efficiency and increase teaching ability and facilitate the dissemination of technologies.

The new concept of Smart Grid entails an increasing development of communication systems and transmission of energy parameters. Given these two situations, a need and a new development, there is the remote laboratory proposal arises: why not take all that information flow to allow it to perform tests and training activities using data from actual installations? .

In this thesis is proposed a new concept of remote laboratory in which physical facilities for testing are actual installations of any type, size and sector that are integrated into the lab network. This flow of information provides data for custom made experiments that analyze energy parameters, propose improvement actions, track the results and follow a process of continuous improvement.

The laboratory model has no planned obsolescence as it is unlimited upgradeable, is not necessary to use any specific software system or tool and is developable as for every need. Is presented a new concept aimed at the distance training, distance learning or research and development of new solutions that can fill gaps that currently exist in the field of experimental and practical training in energy efficiency.

Furthermore this tool is to serve as a training system in energy efficiency in the field of development cooperation and will be n useful tool for improvement quality of life for this people. The platform will not only address becoming a teaching service but also a research and development tool in the matter.

ÍNDICE

RESUMEN	I
SUMMARY	III
ÍNDICE	V
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
1. INTRODUCCIÓN	27
1.1. Contexto de realización	27
1.1.1. Contexto social.....	27
1.1.2. Contexto personal.....	34
1.1.3. Desarrollos preliminares	35
1.2. Objetivos y estructura de la tesis.....	37
1.3. Introducción a los laboratorios remotos.....	39
2. NECESIDADES EDUCATIVAS	41
2.1. Introducción.....	41
2.2. El sistema educativo español	42
2.2.1. Enseñanza no superior.....	45
2.2.2. Educación superior.....	47
2.2.3. Comparativa con el sistema educativo norteamericano.....	48
2.2.3.1. Comparativa entre ambos sistemas	49
2.2.3.2. Recursos dedicados a educación	50
2.3. Contexto energético. Necesidad de formación en eficiencia energética.....	53
2.3.1. Situación del mercado de la eficiencia energética en España	53
2.3.1.1. Agentes en el sector.....	53
2.3.1.2. Sectores con potencial de mejora de la eficiencia energética	57
2.3.2. Potencial de ahorro energético y formación en el ámbito de los Servicios Energéticos.....	60
2.3.2.1. Sector transporte.....	62
2.3.2.2. Sector Edificación	63
2.3.2.3. Sector servicios públicos.....	64
2.3.2.4. Sector agricultura y pesca.....	64
2.3.2.5. Sector de transformación de la energía.....	64
2.3.2.6. Criterios de priorización de actuaciones	65
2.3.3. Principales actuaciones en cada sector	66
2.3.3.1. Sector edificación.....	67
2.3.3.2. Sector industrial.....	69
2.3.3.3. Sector transportes	71
2.3.3.4. Sector público.....	71
2.3.4. El ámbito específico y el potencial de los SSEE	73
2.3.4.1. Barreras en el mercado de los SSEE	74
2.3.4.2. Medidas a tomar para vencer las barreras y fallos.....	76

2.3.4.3. Sobrecoste asociado a la inversión inicial en tecnologías eficientes.....	80
2.3.5. Dotación económica prevista en materia de eficiencia energética	81
2.4. Conclusiones y necesidad de desarrollos	84
3. LABORATORIOS REMOTOS. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE Y TENDENCIAS.....	93
3.1. Los laboratorios en la enseñanza	93
3.2. Los experimentos en plataformas remotas.....	95
3.2.1. Tipos de experimentos remotos.....	97
3.2.1.1. Laboratorios virtuales con simulación remota.....	98
3.2.1.2. Laboratorios remotos de experimentación física	99
3.2.1.3. Laboratorios mixtos o híbridos	100
3.2.1.4. Tipos de experimentos	101
3.2.2. Ventajas asociadas a los laboratorios remotos	102
3.3. Evolución y desarrollos en laboratorios remotos	106
3.3.1. Laboratorios remotos y capacidad pedagógica. Experiencias y desarrollos.....	107
3.3.2. Integración de sistemas de laboratorios remotos con otras plataformas.....	109
3.3.2.1. Los laboratorios remotos en los nuevos sistemas de docencia	109
3.3.3. Componentes de los laboratorios remotos	110
3.3.3.1. Protocolos de comunicación en laboratorios remotos	112
3.3.3.2. Topología de los sistemas de laboratorios remotos.....	113
3.4. Desarrollos más importantes en laboratorios remotos	115
3.4.1. Laboratorios remotos en entornos colaborativos. Programas y oportunidades.....	115
3.4.2. Laboratorios remotos para enseñanza en ingeniería	116
3.4.2.1. Laboratorios remotos desarrollados para la docencia en electrónica y microelectrónica	116
3.4.2.2. Sistemas de laboratorios remotos para formación en electrónica de potencia y sistemas de control de motores	119
3.4.2.3. Laboratorios remotos para sistemas de control y automática	120
3.4.2.4. Laboratorios remotos para robótica	124
3.4.2.5. Laboratorios remotos sobre microprocesadores y sistemas embebidos.....	126
3.4.2.6. Laboratorios remotos en otras áreas	126
3.5. Tendencias actuales en los laboratorios remotos.....	127
3.6. Necesidades de formación en eficiencia energética. Propuesta de laboratorio remoto.....	130
3.6.1. Necesidades de un laboratorio remoto de eficiencia energética	131
3.6.2. Laboratorio remoto de eficiencia energética clásico frente a sistema distribuido.....	136
3.6.3. Análisis de cumplimiento de requisitos	148
3.7. Conclusiones	150
4. INTEGRACIÓN DEL LABORATORIO EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA	151
4.1. Integración del laboratorio remoto de eficiencia energética en las SG	153
4.1.1. Contadores inteligentes en Smart Grids	154
4.1.2. Tecnologías de comunicación de datos para Smart Meters	156
4.1.3. Estado de implementación de Smart Meters.....	158
4.1.4. Sistemas de comunicación para integración del laboratorio remoto	159
4.2. Tecnología PLC para integración del laboratorio remoto en Smart Grids.....	160
4.2.1. Funcionamiento de la red PLC	161
4.2.1.1. Transmisión conjunta de energía e información. Frecuencias de trabajo.....	162
4.2.1.2. Sistemas de modulación empleados	163
4.2.1.3. Funcionamiento del sistema OFDM.....	166
4.2.2. Sistemas PLC e integración con modelos OSI para el desarrollo del laboratorio remoto	168
4.2.2.1. Capacidad del sistema PLC.....	169

4.2.3. Arquitectura de la red PLC	171
4.2.4. Sistemas PLC para el laboratorio remoto	174
4.2.4.1. Sistema de distribución.....	174
4.2.4.2. Gestión de la red.....	176
4.2.4.3. Acoplamiento de la red.....	177
4.2.5. Limitaciones del sistema PLC	178
4.2.6. Principales tendencias a nivel mundial	179
4.3. Conclusiones	186
5. EXPERIMENTOS EN LABORATORIO REMOTO INTEGRADO EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	187
5.1. Experimentos en el área de la eficiencia energética en Edificios y en el Sector Terciario	194
5.1.1. Eficiencia energética en viviendas.....	194
5.1.1.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento	198
5.1.1.2. Conclusiones y desarrollos futuros.....	202
5.1.2. Sistemas de Energía Solar Térmica integrados en edificación.....	203
5.1.2.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento	206
5.1.2.2. Conclusiones y desarrollos futuros.....	216
5.1.3. Sistemas de Absorción de triple estado tipo LiCl-H ₂ O con alimentación solar y disipación en piscina integrados en edificación.....	216
5.1.3.1. Sistema de cálculo y descripción de la herramienta	220
5.1.3.2. Justificación de la solución tecnológica. Marco de referencia e introducción	220
5.1.3.3. Elección de la tecnología y diseño del sistema	222
5.1.3.4. Resultados experimentales y análisis.....	232
5.1.3.5. Conclusiones y desarrollos futuros.....	238
5.1.4. Análisis Exergético de Sistemas de Absorción de triple estado tipo LiCl-H ₂ O con alimentación solar y disipación en piscina integrados en edificación	241
5.1.4.1. Sistema de cálculo y descripción de la herramienta	244
5.1.4.2. Elección de la tecnología y justificación de la solución	244
5.1.4.3. Fundamentos del análisis exergético propuesto	247
5.1.4.4. Modelo y calculos realizados.....	248
5.1.4.5. Resultados de los ensayos	254
5.1.4.6. Conclusiones experimentales y de uso de la herramienta	260
5.1.5. Análisis de instalaciones fotovoltaicas en edificios para autoconsumo en balance neto	262
5.1.5.1. Descripción del sistema de ensayos.....	266
5.1.6. Diseño de edificios pasivos en un marco de cooperación al desarrollo	272
5.1.6.1. Marco de desarrollo y aplicaciones.....	276
5.1.6.2. Necesidad de desarrollo de soluciones para viviendas en campos de refugiados.....	276
5.1.6.3. Diseño experimental del refugio y optimización con técnicas pasivas	277
5.1.6.4. Uso de la tecnología cool-roof como sistema de minimización de demanda	286
5.1.6.5. Resultados derivados del uso de técnicas pasivas	288
5.1.6.6. Conclusiones sobre el ensayo.....	299
5.1.6.7. Desarrollo de un caso particular: refugio pasivo en Haití	299
5.2. Experimentos en el área de la eficiencia energética en sector Industrial	307
5.2.1. Eficiencia energética en sistemas de bombeo.....	307
5.2.1.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento	310
5.2.2. Mejora de la eficiencia energética en industrias mediante Energía Geotérmica de Baja Entalpía y financiación en modalidad ESE.....	314
5.2.2.1. Marco del experimento y justificación.....	318

5.2.2.2. Solución basada en BCG	323
5.2.2.3. Tipo de Servicio Energético propuesto	325
5.2.2.4. Análisis de sensibilidad de las soluciones	328
5.2.2.5. Conclusiones	333
5.2.3. Eficiencia energética en sistemas de iluminación industrial.....	334
5.2.3.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento.....	338
5.2.4. Reducción de costes de acceso a redes de distribución eléctricas	341
5.2.4.1. Antecedentes y entorno normativo del experimento.....	344
5.2.4.2. Optimización del coste de acceso a redes.....	349
5.2.4.3. Sistema de predicción de demanda.....	351
5.2.4.4. Conclusiones del ensayo.....	357
5.3. Experimentos en el área de tecnologías horizontales para la mejora de la eficiencia energética	358
5.3.1. Sistemas de cogeneración	358
5.3.1.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento.....	362
5.3.1.2. Conclusiones sobre el experimento	369
5.3.2. Sistemas de acumulación de energía en Smart Grids	370
5.3.2.1. Funcionamiento de la herramienta.....	374
5.3.2.2. Conclusiones sobre el experimento	375
5.3.3. Reducción de pérdidas en transformadores en paralelo	376
5.3.3.1. Funcionamiento de la herramienta.....	380
5.3.3.2. Metodología de cálculo y del ensayo	386
5.3.3.3. Resultados y análisis	390
5.3.3.4. Conclusiones sobre el experimento	399
5.3.4. Redes de micropoligeneración para edificios en redes de generación distribuida	401
5.3.4.1. Funcionamiento de la herramienta.....	404
5.3.4.2. Conclusiones sobre el experimento	409
6. conclusiones	411
6.1. Conclusiones, contribuciones y cumplimiento de los objetivos propuestos.....	411
6.2. Trabajos futuros	413
7. BIBLIOGRAFÍA	415
ANEXO I: CURRICULUM VITAE	441
DAVID BORGE DIEZ	441

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS

\dot{E}	Flujo Exergético (J/s)
\dot{m}	Flujo másico (kg/s)
\dot{Q}	Caudal Volumétrico (m ³ /s)
R_p	Resistencia Térmica del Tubo (mK/W)
R_s	Resistencia Térmica del Suelo (mK/W)
A	Área (m ²)
a_1	Coefficiente lineal de transmisión térmica (W/m ² K)
a_2	Coefficiente cuadrático de transmisión térmica (W/m ² K ²)
ACS	Agua Caliente Sanitaria
$A_{e,i}$	Coefficiente de Exceso de potencia por Periodo
AGI	Auditoría de Grado de Inversión
AO	Área Ocupada (m ²)
BCG	Bomba de Calor Geotérmica
BMS	Building Management System
BOE	Boletín Oficial del Estado
BPL	Broadband Power Line
c	Calor Específico (J/kg K)
C	Coefficiente de Flujo en la Abertura (m ³ /sPa)
CAC	Contrato de Ahorros Compartidos
CAG	Contrato de Ahorros Garantizados
CAV	Ciclo de Absorción de Vapor
CB	Caso Base
CCV	Ciclo de Compresión de Vapor
CFD	Computer Fluid Dynamics

CNC	Sistema de Control Numérico (CNC)
COP	Coefficient of Performance
COR	Ciclo Orgánico de Rankine
CR	Cool Roof
CSE	Contrato de Servicios Energéticos
CTE	Código Técnico de la Edificación
d	Derivada
DP	Diferencial de Presión en la Abertura (Pa)
DSSSM	Direct Sequence Spread Spectrum Modulation
EC	Energía Consumida (kWh)
EEES	Espacio Europeo de Educación Superior
EERR	Energías Renovables
EGBT	Energía Geotérmica de Baja Temperatura
EPC	Energy Performance Contract
EPS	Poliestireno Expandido
ESE	Empresa de Servicios Energéticos
ESO	Educación Secundaria Obligatoria
EST	Energía Solar Térmica
f	Factor
F	Fracción de Horas de Uso a Máxima Potencia
FEP	Término Tarifario de Exceso de Potencia (€)
Fp	Factor de Pérdidas
FP	Termino Tarifario de Acceso a Red (€)
Fq	Factor de Calidad
FR	Ratio de Flujo
GCHP	Bomba de Calor Acoplada con el Terreno

GDC	Grados Día de Calefacción
GDR	Grados Día de Refrigeración
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GFHP	Bombas de Calor Alimentada por Agua de Acuífero
GHX	Intercambiador de Calor Acoplado con el Terreno
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GN	Gas Natural
GWHP	Bomba de Calor alimentada con Agua de Acuífero
h	Entalpía Específica (J/kg K)
h	Factor de Transmisión de Calor (W/m ² K)
HCFC	Hidroclorofluorocarburo
HF	High Frequency
HFCPN	High Frequency Conditioned Power Network
HR	Humedad Relativa (%)
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
I	Irradiación (I)
I+D+i	Investigación, Desarrollo e Innovación
ICP	Interruptor de Control de Potencia
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IPC	Índice de Precios al Consumo
K _i	Coefficiente de Multa por Exceso de Potencia
K _m	Coste de Exceso de Potencia (€)
LOE	Ley Orgánica de la Enseñanza
M	Masa (kg)

M	Tasa Metabólica (W/m ²)
M&V	Medida y Verificación de ahorros
MESEs	Micro Compañías de Servicios Energéticos
MH	Muro de Hormigón
MTDs	Mejores Técnicas Disponibles)
NP	Número de Personas
OC	Densidad de Ocupación (
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OEM	Original Equipment Manufacturer
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OSI	Open Systems Interconnection
P	Potencia (kW)
P	Potencia (kW)
P	Presión (Pa)
P2P	Peer-to-Peer
PAEE 2011-2020	Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020
PCI	Poder Calorífico Inferior (kWh/m ³ N)
PDE	Puerto de Distribución Eléctrica
PDI	Personas Desplazadas Internamente
PIB	Producto Interior Bruto
PIB	Producto Interior Bruto
PLC	Power Line Communication
PLO	Paralell Losses Optimization
PM	Programa Marco
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied

PR	Periodo de Retorno de la Inversión
pred	Predicción
q	Caudal de Ventilación en Abertura (m ³ /s)
Q	Tasa de Transmision de calor (W)
s	Entropía Específica (J/kg K)
S	Potencia Aparente (kVA)
SCADA	Supervision, Control and Data Acquisition
SE	Servicio Energético
SEER	Rendimiento Estacional de Generación de Frío
SG	Smart Grid
SGE	Sistema de Gestión de la Enseñanza
SGE	Sistemas de Gestión Energética
SM	Smart Meter
SNR	Relación Señal a Ruido
SSEE	Servicios Energéticos
ST	Sumidero Térmico
sub	Subintervalo
SWHP	Bomba de Calor de Superficie
t	Coste de Acceso del Periodo Tarifario (€/kW)
t	Día de Cálculo
T	Temperatura (°C o K)
TE	Torre de enfriamiento
TICs	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TIR	Tasa Interna de Retorno
TOC	Total Owning Cost
U	Coficiente global transmisión de calor (W/m ² K)

UA	Unidad de Acondicionamiento
UE	Unión Europea
UNED	Universidad Nacional de Educación a Distancia
UR	Unidades Repetidoras
UU	Unidades de Usuario
V	Nivel de Tensión (kV)
v	Velocidad (m/s)
V	Volumen (m ³)
VoIP	Voz sobre Protocolo de Internet
w	Humedad Relativa en la Piel (%)
W	Trabajo Externo del Área del Cuerpo (W/m ²)
WWW	World Wide Web
X _s	Amplitud Térmica Anual (°C)

Símbolos

α	Difusividad Térmica del Terreno (m ² /s)
ε	Eficiencia Exergética
η	Rendimiento Térmico
μ	Potencial Electroquímico (J/kg)
ρ	Densidad (kg/m ³)

Subíndices

0	estado muerto
---	---------------

0	pérdidas en vacío
a	aire
abs	absorbedor
abs	absorbida
alim	alimentación
aux	auxiliar
c	calefacción
C	Ciclo de Carnot
c	potencia contratada
cal	cálido
cald	caldera
cl	ropa
col	colector
con	condensador
d	demandada
dem	demanda
disp	disponible
DX	sistema de expansión directa
EST	energía solar térmica
ev	evaporador
exp	experimental
ext	exterior
frío	día temperatura fría
g	terreno
gen	generador
Gen	generador eléctrico

glo	global
i	entrada
in	interna
int	interior
L	carga del transformador
marco	marco de ventana
medio	día temperatura media
min	mínimo
N	nominal
o	salida
p	periodo tarifario
par	transformadores en paralelo
puerta	puerta
r	radiante media
r	real
refrig	refrigeración
refrig	refrigeración
s	profundidad del terreno
salto	salto térmico
SC	cortocircuito
sol	sol
sol	solución
solar	energía solar térmica
sum	sumidero térmico sistema absorción
T	totales
tanque	tanque

teo	teórico
ter	térmico
trans	transmisión de calor
vap	vapor
vidrio	vidrio de ventana
w	agua
w	viento
z	altura de la abertura

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Consumo final EERR en España horizonte 2020	30
Fig. 2. Aportación EERR horizonte 2020	30
Fig. 3. Aportación de las EERR en la generación eléctrica en el horizonte 2020	31
Fig. 4. Evolución de la intensidad energética en el horizonte 2020	32
Fig. 5. Sistema educativo español	43
Fig. 6. Distribución de consumo energía final año 2010.....	58
Fig. 7. Potencial de ahorro sectorial	58
Fig. 8. Potencial de ahorro energía final por sectores	59
Fig. 9. Potencial de ahorro porcentual totalizado por sectores.....	59
Fig. 10. Distribución consumo energético sector doméstico, gráfico.....	68
Fig. 11. Distribución de consumos en industria, gráfico	70
Fig. 12. Distribución de consumos energéticos en el sector público, gráfico.....	72
Fig. 13. Comparativa de inversiones iniciales para diferentes tecnologías, gráfico	81
Fig. 14. Distribución de fondos por sectores, gráfica.....	83
Fig. 15. Distribución de fondos públicos en diferentes sectores en el horizonte 2011-2020, gráfico	84
Fig. 16. Tipo de experimentación en función de la localización y el tipo de experimento	97
Fig. 17. Componentes en los laboratorios remotos	111
Fig. 18. Distribución y componentes de un laboratorio remoto convencional.....	112
Fig. 19. Infraestructura laboratorio remoto propuesto	137
Fig. 20. Laboratorio remoto propuesto: capacidad total de integración nuevos desarrollos	140
Fig. 21. Capacidad de uso de múltiples sistemas de comunicación en el laboratorio remoto	142
Fig. 22. Laboratorio remoto: uso de diferentes herramientas de análisis.....	145
Fig. 23. Capacidad de laboratorio remoto uso con diferentes versiones software	147
Fig. 24. Realización de análisis por parte de diferentes usuarios sobre el mismo experimento	148
Fig. 25. Modelo de referencia OSI e integración del laboratorio remoto	169
Fig. 26. Infraestructura PLC	172
Fig. 27. Laboratorio remoto integrado en red PLC	173
Fig. 28. Conexión laboratorio remoto a red PLC.....	174
Fig. 29. Filtros para separación de señales	177
Fig. 30. Pantalla para realización de cálculos eléctricos	199
Fig. 31. Pantalla para la realización de cálculos térmicos	200
Fig. 32. Reparto del consumo eléctrico en la vivienda estudiada	200
Fig. 33. Reparto del consumo térmico en la vivienda estudiada.....	201
Fig. 34. Medidas de ahorro propuestas	201
Fig. 35. Selección de captador y de sistema de generación de ACS solar	207
Fig. 36. Resultados del dimensionado	208
Fig. 37. Dimensionado de acumulación, tuberías y bombas	210
Fig. 38. Sección de aislamiento de tuberías y demanda	211
Fig. 39. Sección de cálculo de sombreado y pérdidas.....	212
Fig. 40. Detalle de memoria técnica autogenerada	213
Fig. 41. Detalle de entrada de datos del sistema solar para piscina.....	215
Fig. 42. Resultados evaluación energética para la piscina	215
Fig. 43. Esquema de sistema de tipo LiCl-H ₂ O.....	225
Fig. 44. Focos de intercambio térmico del sistema de absorción.....	226
Fig. 45. Esquema interior del sistema de absorción tipo LiCl-H ₂ O.....	227

Fig. 46. Curva de rendimiento del colector solar.....	231
Fig. 47. Conexionado del sistema	233
Fig. 48. Evolución de temperaturas en diferentes días	234
Fig. 49. Evolución del COP para un día cálido y medio	235
Fig. 50. Máximas variaciones del COP para el día tipo cálido y medio	235
Fig. 51. Potencias de refrigeración para un día tipo cálido y medio	236
Fig. 52. Evolución de la potencia del sumidero para un día cálido y medio	236
Fig. 53. Temperaturas más significativas para el día tipo cálido y medio	237
Fig. 54. Diagrama de bloques del sistema termosolar	248
Fig. 55. Procedimiento de cálculo	249
Fig. 56. Esquema de la máquina de absorción	251
Fig. 57. Demandas energéticas para León, Madrid y Sevilla	255
Fig. 58. Temperaturas para las tres ubicaciones	256
Fig. 59. Aportación de EERR para diferentes usos.....	257
Fig. 60. Rendimientos exergeticos con y sin incluir el ACS	258
Fig. 61. Balance energético del sistema	266
Fig. 62. Detalle zona de perfil de demanda y de selección de inclinación	267
Fig. 63. Selección y configuración del campo Fotovoltaico, regulador e inversor	268
Fig. 64. Diseño y configuración de las protecciones	269
Fig. 65. Diseño y configuración del cableado.....	269
Fig. 66. Sistema mixto eólico y fotovoltaico	270
Fig. 67. Análisis del ciclo de costes.....	270
Fig. 68. Detalle gráfico de costes.....	271
Fig. 69. Planta del edificio.....	284
Fig. 70. Secciones del edificio	285
Fig. 71. Gráfico de ocupación.....	285
Fig. 72. Distribución de los lotes de edificios	290
Fig. 73. Distribución no uniforme.....	290
Fig. 74. CFD distribución uniforme.....	291
Fig. 75. CFD distribución no uniforme	291
Fig. 76. Resultados para la distribución uniforme	295
Fig. 77. Resultados para la distribución irregular	296
Fig. 78. Demandas anuales para la distribución uniforme.....	298
Fig. 79. Demandas anuales para la distribución uniforme.....	298
Fig. 80. Demandas de frío a lo largo del año.....	299
Fig. 81. Temperatura en la ubicación	302
Fig. 82. Radiación solar en la ubicación	302
Fig. 83. Temperaturas días de diseño	304
Fig. 84. Temperaturas día de diseño. Comparativa	304
Fig. 85. Humedad Relativa día de diseño	305
Fig. 86. Evolución temperatura operativa día de diseño.....	305
Fig. 87. Temperatura operativa. Resultados anuales	306
Fig. 88. Evolución temperaturas mensuales.....	306
Fig. 89. Pantallas para introducción de datos y parámetros	311
Fig. 90. Altura de la bomba y caudal del sistema.....	312
Fig. 91. Eficiencias de la bomba a velocidad variable.....	312
Fig. 92. Energía por cada 1000 m ³ bombeados.....	313
Fig. 93. Coste por cada 1000 m ³ bombeados	313

Fig. 94. Funcionamiento de las bombas a distinta velocidad	314
Fig. 95. Funcionamiento de las bombas a la misma velocidad.....	314
Fig. 96. Evolución del periodo de retorno con el valor de GDR y GDC	331
Fig. 97. Evolución del TIR con el valor de GDR y GDC	332
Fig. 98. Influencia del ratio GDR/GDC en el periodo de retorno y en el TIR.....	332
Fig. 99. Análisis de riesgo.....	333
Fig. 100. Ensayo de sustitución de tecnología lumínica	339
Fig. 101. Capturas de simulación lumínica	340
Fig. 102. Estructura del mercado eléctrico en España	346
Fig. 103. Infraestructura para predicción de demanda.....	352
Fig. 104. Optimización de costes de acceso.....	355
Fig. 105. Detalle de optimización por periodo tarifario	355
Fig. 106. Ajuste predicción y real	356
Fig. 107. Predicción de demanda y error de predicción.....	356
Fig. 108. Nivel de error en la predicción	357
Fig. 109. Datos de configuración del estudio.....	362
Fig. 110. Parámetros de consumos y potencias	363
Fig. 111. Potencias para diseño optimizado.....	364
Fig. 112. Potencias para diseño personalizado	365
Fig. 113. Generación térmica.....	366
Fig. 114. Generación eléctrica	366
Fig. 115. Resultados parámetros económicos	367
Fig. 116. Resultados parámetros ambientales.....	368
Fig. 117. Parámetros de introducción de datos	374
Fig. 118. Resultados de carga y descarga de las baterías.....	375
Fig. 119. Optimización pérdidas en paralelo, caso 410 kVA.....	391
Fig. 120. Optimización pérdidas en paralelo, caso 410 kVA, detalle.....	391
Fig. 121. Punto de optimización-PLO.....	392
Fig. 122. Integración sistema PLO.....	393
Fig. 123. Casos para potencia de 650 kVA	394
Fig. 124. Casos para potencia de 1.260 kVA.....	394
Fig. 125. Casos para potencia de 1.630 kVA.....	394
Fig. 126. Casos para potencia de 2.600 kVA.....	395
Fig. 127. Caso de estudio anual 650 kVA	395
Fig. 128. Caso de estudio anual 1.260 kVA	396
Fig. 129. Caso de estudio anual 1.630 kVA	396
Fig. 130. Caso de estudio anual 2.600 kVA	397
Fig. 131. Clases de eficiencia instalaciones encuesta.....	398
Fig. 132. Protocolos de mantenimiento en instalaciones encuesta.....	399
Fig. 133. Modelo de red de poligeneración.....	405
Fig. 134. Resultados en TRNSYS para sistema de cogeneración.....	405
Fig. 135. Potencias térmicas y eléctricas en el modelo de TRNSYS	406
Fig. 136. Comportamiento del sistema de hidrógeno en TRNSYS.....	406

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo final energías renovables España horizonte 2020.....	29
Tabla 2. Porcentaje de aportación de las EERR en España en el horizonte 2020.....	29
Tabla 3. Distribución de competencias para enseñanzas no universitarias.....	44
Tabla 4. Distribución de la educación obligatoria.....	45
Tabla 5. Educación secundaria postobligatoria: ramas y características.....	46
Tabla 6. Comparativa entre sistemas educativo español y estadounidense.....	50
Tabla 7. Gasto educativo en España	51
Tabla 8. Distribución de gastos en educación en España.....	52
Tabla 9. Sectores de aplicación de técnicas de eficiencia energética y de formación con el laboratorio	56
Tabla 10. Consumo de energía final por sector año 2010.....	57
Tabla 11. Ahorros de energía primaria y final horizonte 2020.....	61
Tabla 12. Beneficios económicos esperados PAEE 2011-2020.....	65
Tabla 13. Distribución de consumos energéticos en sector doméstico-residencial.....	68
Tabla 14. Distribución porcentual de consumos en el sector industrial.....	70
Tabla 15. Distribución de consumos en el sector público	72
Tabla 16. Fortalezas y Debilidades del sector de los SSEE.....	77
Tabla 17. Oportunidades y Amenazas del sector de los SSEE	78
Tabla 18. Posibilidades de actuación de sector SSEE para mejora de la eficiencia energética	79
Tabla 19. Comparativa de inversiones iniciales para diferentes tecnologías	81
Tabla 20. Inversiones previstas en el horizonte 2011-2020 para diferentes sectores.....	82
Tabla 21. Distribución de fondos por sectores.....	82
Tabla 22. Distribución de fondos públicos en diferentes sectores en el horizonte 2011-2020	83
Tabla 23. Necesidades de formación según sector.....	85
Tabla 24. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio tradicional.....	86
Tabla 25. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio remoto	89
Tabla 26. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio remoto con toma de datos distribuida	91
Tabla 27. Deficiencias en desarrollos de laboratorios remotos. Aplicación a la eficiencia energética.....	131
Tabla 28. Necesidades del laboratorio de eficiencia energética propuesto.....	132
Tabla 29. Instalaciones objeto de estudio de eficiencia energética y características distribuidas	133
Tabla 30. Áreas de eficiencia energética e influencia de la gestión.....	135
Tabla 31. Herramientas de análisis y frecuencia de uso.....	146
Tabla 32. Cumplimiento de requisitos del laboratorio.....	149
Tabla 33. Sistemas de modulación PLC.....	164
Tabla 34. Diferentes sistemas PLC	165
Tabla 35. Estimación de la capacidad de canal PLC en la red de acceso.....	171
Tabla 36. Nivel jerárquico y comunicación entre dispositivos en la red PLC	173
Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC	180
Tabla 38. Ejemplos de experimentos en el laboratorio remoto.....	188
Tabla 39. Área de aplicación de los experimentos llevados a cabo en el laboratorio	189
Tabla 40. Herramientas utilizadas en los experimentos del laboratorio remoto	190
Tabla 41. Orientación de los experimentos propuestos.....	191
Tabla 42. Experimento sobre Eficiencia Energética en viviendas	195
Tabla 43. Experimento sobre Energía Solar Térmica en edificación.....	203
Tabla 44. Experimento sobre sistemas de absorción de triple estado.....	217

Tabla 45. Parámetros climáticos de la ubicación	228
Tabla 46. Características constructivas	229
Tabla 47. Demanda de energía anual y emisiones de GEI	230
Tabla 48. Demanda de ACS.....	230
Tabla 49. Resultados de consumo energético con sistema solar térmico	232
Tabla 50. Experimento sobre análisis exergético de edificios con sistemas de absorción de triple estado	242
Tabla 51. Ratios de calor y frío para las ubicaciones.....	249
Tabla 52. Análisis de varianza	259
Tabla 53. Experimento sobre sistemas Fotovoltaicos aislados para autoconsumo en balance neto	263
Tabla 54. Diseño y evaluación de tecnologías pasivas en edificios para cooperación al desarrollo.....	273
Tabla 55. Variables ambientales y parámetros fisiológicos influencia confort.....	280
Tabla 56. Horarios de ocupación	285
Tabla 57. Características constructivas	286
Tabla 58. Materiales utilizados	289
Tabla 59. Casos para expansión directa.....	292
Tabla 60. Casos para absorción.....	292
Tabla 61. Efecto del aditivo para cool roof.....	293
Tabla 62. Resultados día de diseño	293
Tabla 63. Resultados horarios	297
Tabla 64. Disminución de necesidades de sistema solar	297
Tabla 65. Casos de estudio para refugio pasivo en Haití	301
Tabla 66. Principales resultados para los casos de estudio	303
Tabla 67. Resultados comparativos caso 4	303
Tabla 68. Experimento sobre eficiencia energética en sistemas de bombeo	308
Tabla 69. Experimento sobre eficiencia energética en granjas con BCG y modalidad ESE	316
Tabla 70. Contratos energéticos, principales características	322
Tabla 71. Factores que afectan al desarrollo de las ESEs.....	323
Tabla 72. Tipos de intercambiador entre BCG y terreno	324
Tabla 73. Características de las instalaciones.....	327
Tabla 74. Condiciones idóneas.....	327
Tabla 75. Resultados para el caso 1	327
Tabla 76. Resultados para el caso 2	328
Tabla 77. GDC y GDR para diferentes ciudades españolas	329
Tabla 78. Resultados del análisis de sensibilidad.....	330
Tabla 79. Experimento sobre eficiencia energética en sistemas de iluminación industrial	335
Tabla 80. Experimento sobre reducción de costes de acceso a redes de distribución eléctricas	342
Tabla 81. Tarifas de acceso. Niveles de tensión.....	347
Tabla 82. Excesos de potencia en tarifas 3.x.....	348
Tabla 83. Valores de K_i	349
Tabla 84. Registro temporal de las medidas	353
Tabla 85. Potencias contratadas actuales y optimizadas.....	354
Tabla 86. Costes optimizados.....	355
Tabla 87. Experimento sobre sistemas de cogeneración.....	359
Tabla 88. Experimento sobre acumulación de energía en Smart Grids.....	371
Tabla 89. Reducción de pérdidas en transformadores en paralelo	377
Tabla 90. Tipos de pérdidas en transformadores	384
Tabla 91. Combinación de transformadores a ensayo	388
Tabla 92. Instalaciones estudiadas	389

Tabla 93. Instalaciones encuestadas	390
Tabla 94. Resultado sistemas PLO	392
Tabla 95. Instalaciones estudiadas	393
Tabla 96. Resultados de ahorros anuales	397
Tabla 97. Detalle de instalaciones encuesta	398
Tabla 98. Experimento sobre sistemas de poligeneración.....	402

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO DE REALIZACIÓN

La realización de la presente tesis doctoral se enmarca en un contexto que engloba aspectos sociales y personales y que está avalado por una serie de desarrollos preliminares que llevan y empujan al autor a la elaboración de este trabajo. Sirva este apartado para dar respuesta a las preguntas que tantas veces surgen cuando se analiza un trabajo desarrollado por una persona: ¿por qué?, ¿para qué?.

El ser humano es social por naturaleza y además la globalización obliga a que sea necesario contextualizar y analizar a nivel global cualquier aspecto. No tendría sentido el hablar de este trabajo sin pretender colocarlo en un entorno y buscar un fin, un fin que ha de ser, como es la sociedad en la que vivimos, lo más global posible.

1.1.1. Contexto social

Algo está cambiando.

La sociedad, como ente general, comienza a darse cuenta de que el modelo actual no es sostenible. Algunos lo perciben por los cambios y turbulencias económicas, otros por el deterioro medioambiental, quizás alguien por el deterioro social. Son muchas las formas de llegar a la conclusión de que algo debemos hacer.

La sobreexplotación de los recursos, la creencia en la posibilidad del crecimiento económico ilimitado y el creciente consumismo nos están llevando al desastre. En los países denominados del primer mundo comenzamos a no poder abastecer nuestras demandas mientras que los que pertenecen a ese olvidado tercer mundo no pueden ni siquiera acceder al agua y mueren de inanición. El ser humano ha generado este modelo de vida y como tal, puede y debe cambiarlo.

Este momento de crisis económica y financiera nos hace caer en la cuenta de que la naturaleza no está preparada ni concebida para los recursos ilimitados: alimentos, agua, la propia vida...todo tiene un plazo, un tiempo, una cantidad. Para poder generar los alimentos que irresponsablemente repartimos y consumimos, para movernos, para transportar agua, para simplemente vivir necesitamos energía. Hasta hace bien poco este recurso se consideraba ilimitado, sin importancia, nimio, siempre había estado disponible. Pero algo está cambiando. Comenzamos a ver que el horizonte temporal de los recursos energéticos es tangible, finito. Que las energías que

el hombre ha logrado dominar a veces se rebelan, que el concepto de energía segura e ilimitada no existe, nos estamos dando cuenta de que la energía es limitada. Entropía, Exergía y Energía, la propia ley de la termodinámica recuerda que el desorden es creciente en todo proceso lo que implica que llegará un día en que ya no hay nada que desordenar.

Ante este escenario el ser humano plantea estrategias orientadas a dos metas fundamentales:

- Disminuir la demanda energética mediante el uso racional de los recursos y la reducción en las necesidades energéticas del ser humano.
- Aumentar la eficiencia energética de los dispositivos y sistemas consumidores y transformadores de energía, tanto orientados al uso final como al manejo, operación y transformación de la energía.

Dos objetivos con dos puntos de partida opuestos, aumentar y disminuir, pero con un final común, hacer que el consumo de energía primaria final sea menor. Nuevas técnicas, tecnologías y formas de trabajo son requeridas. Es necesario redefinir el modelo, construirlo de nuevo y para ello hay que introducir en la sociedad nuevos conceptos. El ser humano comienza a tomar conciencia de la gravedad del problema y empieza a llevar a cabo acciones globales como la firma del Protocolo de Kioto (UN, 1997), sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Este es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir sus emisiones de algunos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global. Las emisiones totales de los países desarrollados deben reducirse durante el periodo 2008-2012 al menos en un 5% respecto a los niveles de 1990.

A partir de este hito histórico se han seguido llevando a cabo, con mayor o menor éxito, nuevas iniciativas para la reducción del consumo de energía primaria. En la cumbre del año 2007 se llegaron a importantes conclusiones sobre la necesidad de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) pero sin que se fijaran rutas decisivas a garantizar exigencias a los países que los incumplan (Metz, 2007). La necesidad de seguir propiciando un crecimiento económico en los países actualmente en desarrollo y la situación de crisis económica y financiera mundial agravaron esta falta de voluntad.

En el ámbito europeo, a través de la comisión europea, se han ido dando pasos firmes hacia la reducción de la dependencia energética exterior, el incremento de la autosuficiencia energética y la reducción de emisiones de GEIs. A diferencia de otras políticas, en las que la Unión Europea (UE) adolece de falta de consenso, en este caso se han tomado decisiones consensuadas y mayoritariamente apoyadas por todos los miembros. Estos objetivos a lograr en el medio plazo se encuentran recogidos en el Libro Verde (CEC, 2000) que prodiga un modelo energético sostenible, competitivo y seguro. Tras la aceptación de esta política como hoja de ruta que ha de guiar las políticas en materia de energía entre los países miembros se ha establecido una fecha como horizonte para lograr unas metas exigentes pero posibles: el año 2020 (CEC, 2008), (CEC, 2010). Este año no ha sido elegido al azar sino que se basa en que el objetivo perseguido consiste en recortar las emisiones de CO₂ en un 20%, mejorar la eficiencia energética en otro 20% y que el 20% de la energía que se consuma proceda de fuentes renovables. Para garantizar que se alcanzarán esos objetivos la UE se reserva el derecho de intervenir en los planes que a partir de este año tiene que aprobar cada estado miembro, si considera que no son lo suficientemente sólidos como para alcanzar los objetivos (CEC, 2011). En España ese plan de aplicación ha derivado en dos diferentes vías de promoción, en primer lugar el llamado Plan Español de Energías Renovables 2011-2020, que ha sido desarrollado por parte del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y aprobado para su implantación (IDAE, 2011a) y en segundo lugar el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (IDAE, 2011b). En ese informe se detallan los objetivos presentados en la Tabla 1 y en la Tabla 2 que auguran, según la metodología fijada por la propia Comisión Europea, un cumplimiento de la aportación de las Energías Renovables (EERR) del 20,80%.

Tabla 1. Consumo final energías renovables España horizonte 2020

Consumo final de energías renovables (ktep)	2005	2010	2015	2020
Total EERR según directiva	8.302	2.698	16.261	20.525

Tabla 2. Porcentaje de aportación de las EERR en España en el horizonte 2020

Energía bruta (ktep)	2005	2010	2015	2020
EERR para generación eléctrica (producción bruta)	42.441	97.121	112.797	146.080
Aportación EERR sobre energía final bruta (%)	14,50%	32,30%	33,40%	38,10%

En la Fig. 1 se puede apreciar la previsión de consumo final de EERR según las previsiones del IDAE mientras que en la Fig. 2 se muestra la previsión de aportación porcentual de las EERR sobre la energía final consumida.

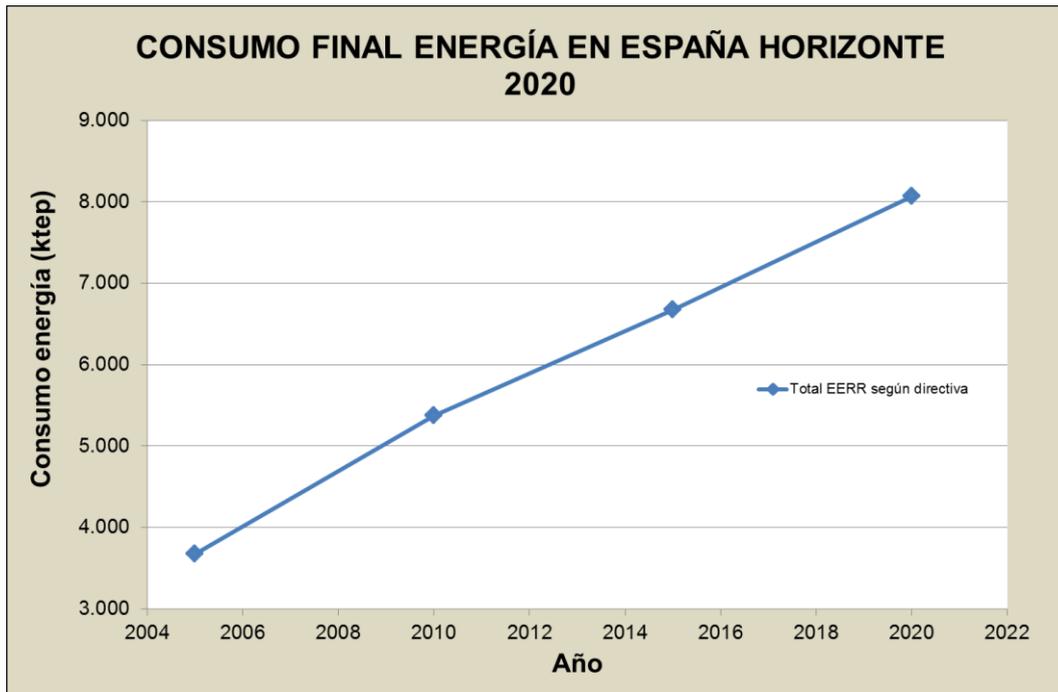


Fig. 1. Consumo final EERR en España horizonte 2020

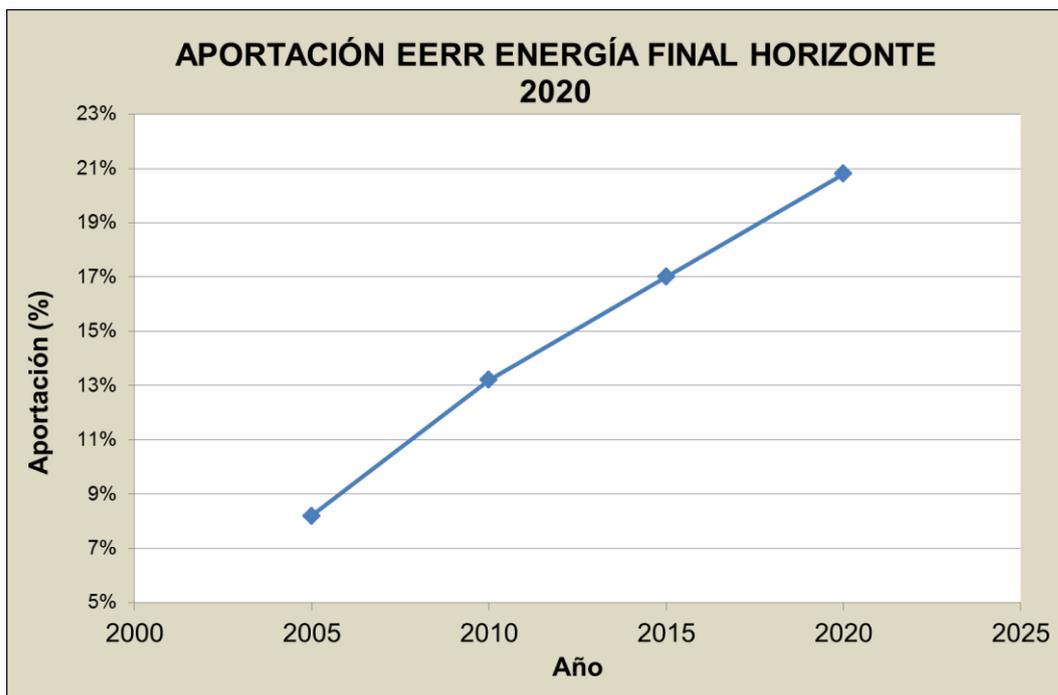


Fig. 2. Aportación EERR horizonte 2020

Estos objetivos permitirán que en el 2020 la aportación de las EERR al consumo final bruto de energía sea del 20,8%, estando el mayor desarrollo en las áreas de generación eléctrica, con una contribución de las energías renovables a la generación bruta de electricidad del 38,1% para ese año, Fig. 3, (IDAE, 2011b). La aplicación de

estas políticas y el alcanzar los objetivos marcados redundarán no sólo en una importante contribución al desarrollo sostenible sino que además mejorarán la competitividad económica del país al producirse una disminución continua y previsible de la intensidad energética, magnitud que relaciona el Producto Interior Bruto (PIB) de un país con el consumo energético, Fig. 4. Una disminución de esta intensidad energética significa un aumento en el uso eficiente de la energía a la hora de generar riqueza y por lo tanto un aumento de la propia eficiencia energética.

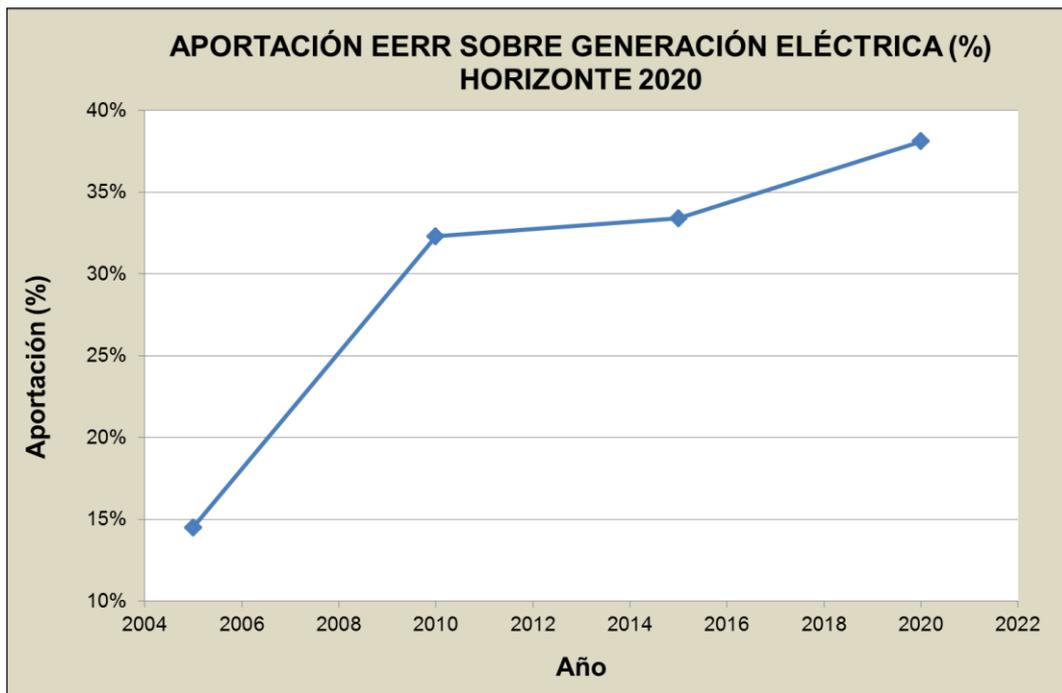


Fig. 3. Aportación de las EERR en la generación eléctrica en el horizonte 2020

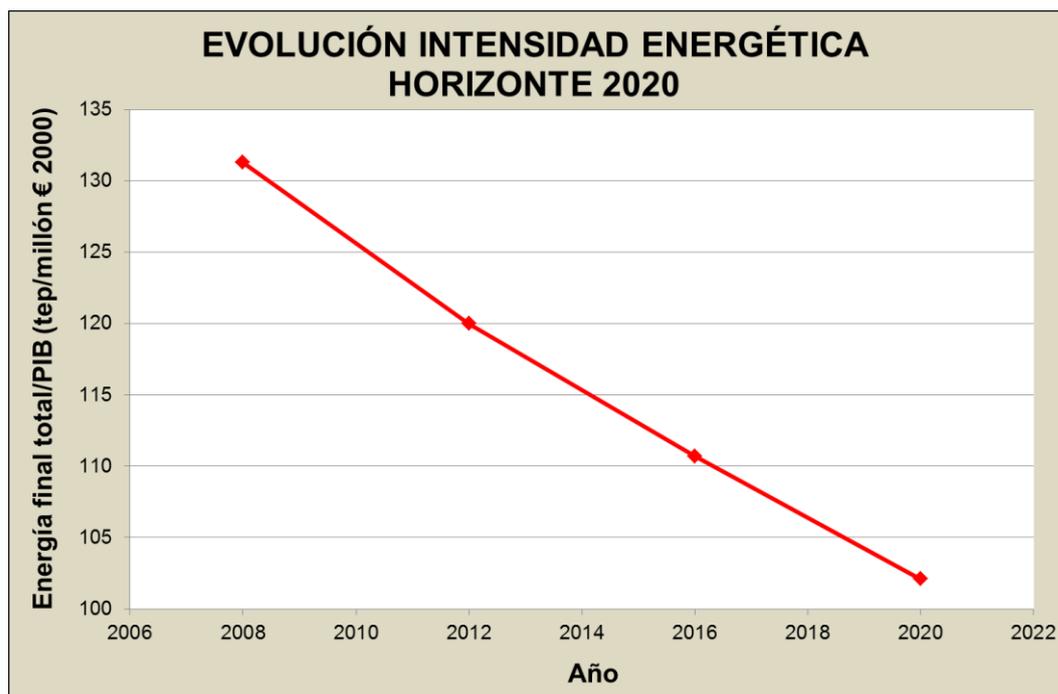


Fig. 4. Evolución de la intensidad energética en el horizonte 2020

Es previsible que en el actual marco de crisis económica la reducción de la intensidad energética sea aún mayor dado que las perspectivas de crecimiento del PIB español en el periodo 2012-2020 bajo las que se ha elaborado el plan son del 2,70%, crecimiento que previsiblemente no se dará en la realidad. Estas previsiones de crecimiento parecen difíciles de conseguir en la actual situación de turbulencia económica y no es acorde a las estimaciones de crecimiento del Fondo Monetario Internacional (FMI) publicadas en los últimos informes World Energy Outlook (IMF, 2011).

Analizando el importante papel que ha de jugar la generación de energía eléctrica mediante fuentes de EERR se entrevé un nuevo problema y una nueva necesidad de aportar soluciones innovadoras. La integración de todas estas fuentes de generación en el sistema eléctrico implica un propio cambio en el concepto y el funcionamiento del mismo. La generación ya no está centralizada en grandes centrales sino que se distribuye en múltiples centrales de producción interconectadas. Además esta generación ya no está controlada ni es previsible en el tiempo debido a la propia naturaleza variable de las fuentes de energía renovable, a excepción de la biomasa para generación eléctrica que suponiendo que cuenta con una acumulación de combustible adecuada podría asimilarse a una central térmica convencional. Las centrales eólicas, fotovoltaicas o termosolares, seguirán a merced de la variabilidad de las fuentes energéticas.

El sistema eléctrico también está cambiando.

Para el aprovechamiento de los excedentes de energía renovable que se producirán en cada instante de tiempo y suplir con ellos las carencias en otras localizaciones, aportando de este modo los necesarios mecanismos de flexibilidad, resulta indispensable un mayor desarrollo de las interconexiones eléctricas de España con el sistema eléctrico europeo. Cada sistema eléctrico como un ente aislado deja de tener sentido y es necesario concebir una nueva distribución energética europea y que además sea inteligente: aparece aquí el concepto de Smart Grid (SG) (Chebbo, 2007).

El nuevo concepto de SG implica el desarrollo de nuevos sistemas de medida energética y comunicación que permita la transmisión de información a distancia con adecuada fiabilidad, seguridad y adecuada precisión. La medida energética en tiempo real es necesaria para el adecuado funcionamiento de los nuevos sistemas de generación energética y grandes desarrollos en esta materia se están llevando a cabo en los últimos años (Clastres, 2011).

Unificando todos estos cambios, unido a la necesidad de optimizar los recursos, cada vez está tomando mayor importancia y relevancia social y económica la necesidad de mejorar la eficiencia energética y el uso adecuado de las fuentes energéticas. Todo parece avanzar en el camino correcto pero falta una pieza muy importante y quizás clave: educación. Educación y formación en las nuevas técnicas, tecnologías y sistemas para mejorar la eficiencia energética en todos los niveles sociales, no sólo a nivel docente sino también laboral. Es necesario dotar de conocimientos sobre ahorro y eficiencia energética a los estudiantes en todos los niveles formativos, permitiendo de este modo una formación transversal en estas materias que permita la implementación progresiva de estas técnicas en los próximos años pero también a los profesionales que actualmente desarrollan su trabajo habitual.

A nivel profesional los importantes cambios que están sucediendo van más rápido que la capacidad de adaptación de los propios profesionales y es necesaria una formación continua en las nuevas técnicas de eficiencia energética que permita la aplicación rápida de los nuevos desarrollos y que tenga además una alta penetración social.

Los desafíos son muchos pero los medios pocos. Es necesario un gran despliegue de medios y de herramientas de formación para poder cumplir con los ambiciosos objetivos y que permitan integrar los nuevos desarrollos en eficiencia energética. En los últimos años el creciente e incipiente desarrollo de las Tecnologías de la

Información y la Comunicación (TICs) ha posibilitado que la docencia no se ligue de forma inexcusable al carácter presencial. La posibilidad de transmisión de información es hoy en día casi omnipresente en nuestra sociedad y la rapidez para hacerlo son, de forma combinada, una herramienta al servicio de la educación. Esta necesidad de transmisión de información sobre medida energética es necesaria para el propio funcionamiento del nuevo concepto de sistema eléctrico anteriormente definido. El concepto de Smart Metering implica la medida en tiempo real, la capacidad de programación remota y la transmisión de la información entre los distintos componentes de la red: consumidores, generadores y sistemas de control y supervisión.

Dada esta situación técnica y social existen actualmente las condiciones idóneas para pensar en el desarrollo de un nuevo concepto de laboratorio de eficiencia energética orientado a la enseñanza remota pero con una toma de datos alejada del clásico concepto de experimento: ¿por qué no utilizar todos esos dispositivos con capacidad de medida para obtener la información necesaria y lograr de este modo un abanico ilimitado de experimentos?.

1.1.2. Contexto personal

A lo largo de los últimos años el autor ha ido tomando decisiones que le han llevado a centrarse y especializarse en el ámbito de la energía y la eficiencia energética. Ha trabajado en dos empresas centradas en sistemas de energías renovables, optimización de procesos, gestión de la energía eléctrica y soluciones de gestión energética integral. Además de ese trabajo en la empresa ha participado, y lo sigue haciendo, en proyectos energéticos no sólo a nivel nacional sino también internacional. Esto sería algo común para cualquier ingeniero que trabaja en la materia pero el autor ha seguido un camino de triple vía: ingeniería, investigación y docencia. Investigación, las ganas de generar nuevas soluciones siempre han estado en la mente del autor y por ello ha tratado de buscar líneas de trabajo en ese sentido, tanto en la empresa privada como en el ámbito investigador, realizando esta tesis doctoral para optar al grado de Doctor. Sin duda es un camino complejo, arduo, pero grato y complementario a todas las demás actividades. Es aquí donde entra en juego la tercera pieza que hace que este proyecto encaje, la docencia. Al autor siempre le ha gustado escuchar a quien enseña y aspiraba a que algún día pudiera enseñar algo de lo que sabe. En diferentes ámbitos, empezando desde la formación en materias básicas para estudiantes de bachillerato hasta llegar a la actualidad a su labor como Profesor

Asociado en la Universidad de León y colaborador habitual en la UNED, ha ido adquiriendo experiencia en ese complejo y precioso mundo, la enseñanza.

Ahora, con los tres aspectos sobre la mesa el autor se ve empujado a llevar a cabo un trabajo que aúne todas estas actividades: investigar sobre cómo mejorar la docencia en el ámbito de la energía y promover su uso eficiente.

1.1.3. Desarrollos preliminares

Son varios los desarrollos que han llevado al autor a ir un paso más allá y avanzar en esta tesis. Ya durante sus estudios universitarios en ingeniería industrial, especialidad en energética, el autor presentó a un concurso organizado por el Centro de Desarrollo en Automoción (CIDAUT) sobre modelos de negocio de empresas de energía una propuesta orientada a la implantación de medidas de ahorro y eficiencia energética en el sector agrario, resultando ganador del mismo.

Este hito le animó a acometer una investigación sobre gasificación de biomasa como temática de su proyecto de fin de carrera. Durante esa etapa trabajó en el Departamento de Motores y Energías Renovables estudiando técnicas de caracterización de biomasa que permitan obtener modelos cinéticos de forma sencilla y bajo unos parámetros que se acerquen lo máximo posible a los existentes en un posible uso industrial. El Proyecto de Fin de Carrera resulto premiado con el Premio de Fin de Carrera de la Cátedra de Energías Renovables de la Universidad de Valladolid.

Durante su andadura profesional comenzó a desarrollar proyectos orientados a la innovación en el ámbito energético. Fruto de estas labores la empresa en la que trabajaba obtuvo un proyecto de I+D+i subvencionado por la Agencia de Desarrollo Económico de la Junta de Castilla y León orientado al diseño de algoritmos de reducción de emisiones de CO₂ en edificios. El propio desarrollo del proyecto permitió profundizar en el conocimiento de los sistemas energéticos, las energías renovables y la eficiencia energética. Posteriormente la empresa obtuvo una concesión como asesora internacional para la implantación de sistemas de energía solar térmica en lecherías de zonas rurales en Chile. El objetivo era promover la instalación de energía solar térmica asociada a la generación de agua caliente para la limpieza de las instalaciones pero también a la producción de frío mediante sistemas de absorción, favoreciendo una disminución del consumo eléctrico en los sistemas de enfriamiento eléctrico convencional. Esos elevados costes unidos a la baja eficiencia energética de

los equipos estaban llevando al traste muchos de estos negocios que representan la única fuente de subsistencia en la zona.

Siguiendo con la actividad innovadora lideró y llevó a cabo la instalación del primer sistema de máquina de absorción con capacidad de almacenamiento energético interno (fluido de trabajo LiCl-H₂O) alimentada con energía solar térmica instalada en una vivienda privada en España. Estas y otras actividades dieron lugar a publicaciones en diferentes medios de comunicación especializados en la materia.

Ya en el ámbito de la innovación docente se ha llevado a cabo un desarrollo consistente en la instalación del primer laboratorio de eficiencia energética en un centro de formación profesional en España. El prototipo, la programación docente, los ensayos y dispositivos fueron diseñados bajo la dirección del autor y se procedió a la construcción y el diseño en el seno de la empresa donde realizaba su actividad profesional. La instalación se ha llevado a cabo en el Centro Integrado de Formación Profesional número 1 de León. El laboratorio está en funcionamiento y sirve para formar a más de 400 estudiantes al año. Se está además negociando la utilización del mismo por parte de asociaciones de profesionales y sindicatos como herramienta de formación y reciclaje tecnológico. El piloto está dando unos resultados sorprendentes lo que está propiciando que la Junta de Castilla y León, a través de su Consejería de Educación, se esté planteando la instalación de más laboratorios en diferentes centros de la comunidad. Es en este ámbito formativo donde el autor detectó la necesidad de ahondar en la mejora y en el desarrollo de un nuevo concepto de laboratorio de eficiencia energética, objeto de esta tesis.

1.2. OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

La experiencia adquirida en estas materias a lo largo de la actividad profesional y docente del autor le ha permitido detectar la necesidad de formación en materia de eficiencia energética. Dado el enfoque planteado no se busca en esta tesis una solución específica a un problema acotado; se busca un nuevo concepto de laboratorio remoto flexible, abierto, multipropósito y adaptable.

El objetivo es investigar sobre los desarrollos en laboratorios remotos realizados hasta la fecha, los sistemas de medida energética remota, sus sistemas de comunicación y los sistemas de medida en redes inteligentes para proponer un sistema de docencia en eficiencia energética con toma de datos distribuida.

Un laboratorio remoto está caracterizado por permitir la realización de una serie de ensayos, reales o virtuales, a distancia. En el caso de que los experimentos se realicen en unas instalaciones reales los resultados obtenidos son procesados para la posterior obtención de conclusiones. En su propia concepción los laboratorios están limitados a su extensión experimental: dependen del número de componentes de que consta el ensayo o de la simulación de los mismos.

Se propone en esta tesis la utilización de equipos de medida energética distribuida instalados en sistemas reales realizados o no a tal propósito como fuente de datos. El equipo de medida podrá estar situado en un laboratorio físico o ser un contador energético en una industria, en el propio edificio o en medio del campo, por ejemplo en una instalación fotovoltaica. Se abre de este modo un abanico prácticamente ilimitado de campos de estudio.

Una vez establecida la fuente de datos se propone el concepto de un laboratorio de eficiencia energética totalmente flexible: es el laboratorio quien se adapta al estudiante y no el estudiante quien ha de adaptarse al laboratorio. Teniendo los datos energéticos necesarios estos pueden ser tratados y analizados con múltiples herramientas que se adecúen al perfil del usuario. En los desarrollos actuales una interfaz y un sistema de tratamiento de datos se diseña y el estudiante debe utilizar de forma invariable los mismos. Esto limita la necesidad anteriormente mencionada de difundir e introducir conceptos de eficiencia energética de modo rápido y multidisciplinar en los diferentes estamentos sociales. No se parecen en nada las aptitudes y actitudes de un trabajador en activo a las de un estudiante universitario o a las de un estudiante de formación profesional. Cada uno requiere un enfoque diferente y utilizar sus herramientas de trabajo habitual. El docente o el usuario

utilizan sus herramientas de trabajo habitual para aprender sobre el experimento. Pueden de este modo utilizarse hojas de cálculo, sistemas de simulación dinámica, software desarrollado a medida o cualquier otro sistema para desarrollar los ensayos. Una vez que el estudiante ha asimilado el concepto el laboratorio clásico queda agotado: no existe posibilidad de nueva generación de conocimiento. Si el nivel del mismo es demasiado elevado para el estudiante ni siquiera este podrá plantearse utilizarlo, si es demasiado bajo no lo utilizará puesto que no le aportará nada. Con el nuevo concepto planteado, una vez finalizado el análisis con una herramienta, el docente o el estudiante usuario final puede plantearse un análisis más en profundidad o con un nuevo enfoque, como por ejemplo analizando las implicaciones económicas de las medidas de eficiencia energética. Finalmente, el laboratorio remoto se convierte en una potente herramienta de enseñanza en la modalidad presencial. El docente tiene la capacidad de elaborar ensayos y explicar sus principios y consecuencias al alumnado, dotándoles de competencias reales en materia de eficiencia energética. Es él quien, en función de su alumnado, puede diseñar un experimento sobre simulación energética o estudiar los ahorros económicos y los beneficios económicos de la utilización de una cierta tecnología. Recordemos que la energía está en todos los ámbitos profesionales y supone una estructura de costes fijos y con un valor creciente año tras año.

En la sección 2 se analizan las necesidades del sector educativo en España y a nivel global con el objeto de definir cuáles son los usuarios potenciales en los diferentes niveles de enseñanza pero también en el sector profesional. Este análisis permite justificar la necesidad de la propuesta a realizar y acotar su alcance.

En la sección 3 se estudian los desarrollos y el estado del arte en laboratorios remotos, las diferentes tipologías existentes y las capacidades docentes de cada uno. Se analizan las características de infraestructura de los mismos, su potencial de enseñanza y sus limitaciones.

En la sección 4 se analizan los diferentes sistemas para medida energética remota que servirán de equipo para la toma de datos que alimenta el laboratorio. Se estudian las diferentes tipologías y protocolos de comunicación con especial hincapié en los sistemas asociados a SG y sistemas de SM.

La sección 5 aborda la propuesta del laboratorio remoto de eficiencia energética con toma de datos distribuida, sus componentes y capacidades, el análisis de costes y las ventajas e inconvenientes frente a desarrollos anteriores y se presentan varios experimentos desarrollados en diferentes áreas y temáticas.

Finalmente en el apartado de conclusiones, sección 6, se analizan las principales aportaciones del nuevo modelo propuesto así como las posibles vías de desarrollo y mejoras así como líneas de trabajo futuras. Se analiza en este apartado también la posibilidad de implantar de forma real un prototipo del sistema.

1.3. INTRODUCCIÓN A LOS LABORATORIOS REMOTOS

Tradicionalmente los laboratorios con fin docente se han concebido con espacios físicos donde se llevan a cabo una serie de ensayos y experimentos con el objetivo de obtener unas conclusiones y facilitar de este modo el aprendizaje de la materia.

En los últimos años y consecuencia del desarrollo de las TICs ha surgido un nuevo concepto de laboratorio remoto en el que el laboratorio puede encontrarse a distancia del usuario del mismo y también desarrollos en los que el propio laboratorio es una simulación del modelo físico, no existiendo por lo tanto ubicación real. Las necesidades anteriormente mencionadas sobre formación en eficiencia energética han dado lugar a que numerosos centros educativos y también empresas cuenten con laboratorios físicos sobre eficiencia energética y energías renovables.

Numerosos desarrollos en materia de laboratorios remotos se han llevado a cabo en los últimos años incluyendo entre los desarrollos de laboratorios virtuales, laboratorios remotos, y sistemas híbridos, mezcla de laboratorios remotos y virtuales.

Existen laboratorios de ambos tipos, además de los físicos, diseñados específicamente para la enseñanza en materia de eficiencia energética aunque todos se caracterizan por una concepción rígida en el tipo de experimento a realizar y en el posterior análisis de los resultados y elaboración de conclusiones.

Queda pues un amplio margen para la propuesta desarrollada en esta tesis doctoral y que supone un nuevo concepto que enriquece y evolucionan los sistemas ya desarrollados hasta la fecha.

2. NECESIDADES EDUCATIVAS

2.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo final de la tesis desarrollada es mejorar la formación en materia de eficiencia energética, por lo que es primordial e imprescindible estudiar y analizar qué necesidades educativas son las existentes hoy en día así como las tendencias en los próximos años. Este estudio y análisis detallado es fundamental para determinar el potencial de la solución propuesta así como las capacidades y características que debe tener, con el objetivo de que esta se adecúe lo máximo posible a la demanda real, pueda dar servicio al mayor número posible de usuarios y sea actualizable en el tiempo.

Las necesidades formativas en materia de eficiencia energética y energías alternativas han venido creciendo en los últimos años debido a dos causas fundamentales: por una parte un aumento de los desarrollos científicos y tecnológicos en la materia y por otra parte la necesidad creciente de reducir el consumo energético, aumentar la racionalidad del mismo e integrar energías renovables en el mix de generación. Este aspecto obliga a que sea necesario dotar al sistema educativo de herramientas para la formación de los nuevos estudiantes que deben adquirir estas capacidades. A diferencia de otros ámbitos formativos y otras disciplinas el desafío no queda aquí sino que aparece otro ámbito fundamental de aplicación: la formación a profesionales. No tiene sentido pensar en la implantación de técnicas, sistemas y procedimientos que mejoren la eficiencia energética esperando a que los actuales estudiantes se integren en el tejido productivo de la sociedad. La integración y difusión de estos conocimientos han de ser lo más rápidas y efectivas posible y debe llevarse a cabo en todos los sectores de la sociedad de modo que se integren en los actuales procesos productivos mejorando el desempeño energético global.

Este desafío es complejo y requiere de nuevas tecnologías que permitan la eficaz difusión de los conocimientos con el menor coste posible y minimizando la necesidad de futuras inversiones para la actualización de la herramienta formativa. En este capítulo se analizan qué necesidades formativas presenta el sistema educativo y los sectores de los diferentes profesionales permitiendo delimitar y acotar el alcance que ha de presentar el laboratorio remoto para, en el siguiente capítulo, analizar qué desarrollos existen en la actualidad y acotar las necesidades y objetivos del nuevo trabajo.

2.2. EL SISTEMA EDUCATIVO ESPAÑOL

En España el sistema educativo se encuentra regido en su estructura y ordenación por los aspectos que se recogen en la Ley Orgánica de la Enseñanza (LOE), que se aprobó definitivamente en el Congreso el día 7 de abril del año 2006 contando en ese momento con un apoyo del 52 por ciento de los votos (BOE, 2006). Esta ley fue publicada finalmente el día 4 de mayo del año 2006 en el Boletín Oficial del Estado (BOE).

En el sistema educativo español se distinguen cinco grandes tipos de educaciones cuyos aspectos más relevantes se enuncian a continuación.

1. La educación infantil (entre los 0 y los 6 años), de carácter no obligatorio pero que pese a ese carácter no obligatorio es gratuita en su segundo ciclo, comprendido entre los 3 y los 6 años.
2. La educación básica, que comprende entre los 6 y los 16 años, que tiene carácter obligatorio y por tanto es gratuita. Esta etapa educativa consiste en dos fases que se cursan de forma sucesiva: la educación primaria que consta de 6 cursos y la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) que consta de cuatro cursos.
3. La educación secundaria postobligatoria, que por tanto no es gratuita, que comprende cinco enseñanzas independientes entre ellas y que requieren para poder ser cursadas la posesión del título de la ESO: el bachillerato (que consta de dos cursos), la formación profesional de grado medio, las enseñanzas profesionales de artes plásticas y diseño de grado medio y las enseñanzas deportivas de grado medio.
4. La educación superior (con distintos criterios para acceder dependiendo de la enseñanza elegida) que comprende, de forma independiente entre ellas, la enseñanza universitaria, las enseñanzas artísticas superiores, la formación profesional de grado superior, las enseñanzas profesionales de artes plásticas y diseño de grado superior y las enseñanzas deportivas de grado superior.
5. Las enseñanzas de régimen especial, que son la de idiomas, las artísticas y las deportivas.

En la Fig. 5 mostrada a continuación se presenta un esquema gráfico que resume las diferentes etapas y características del sistema educativo español.

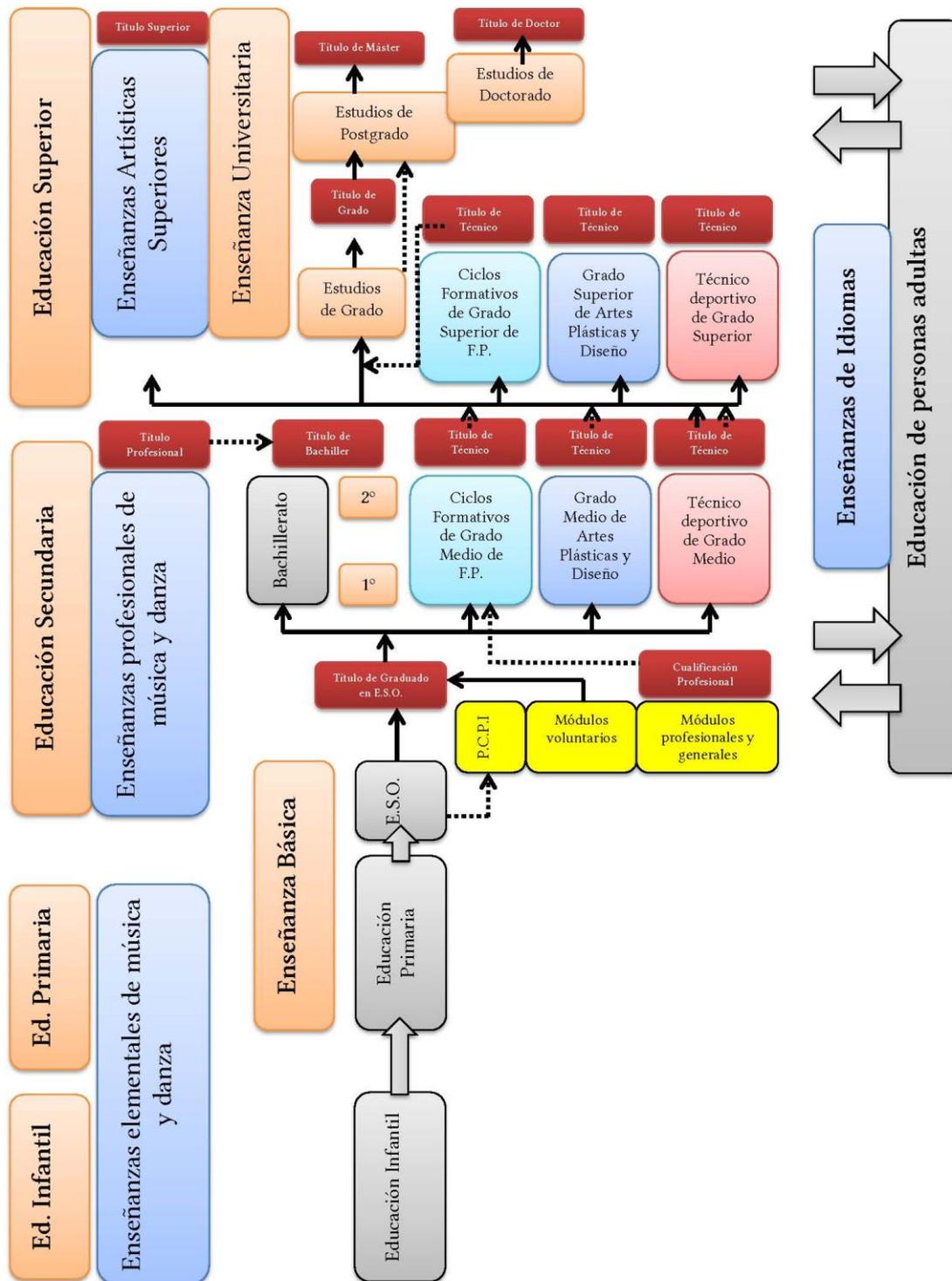


Fig. 5. Sistema educativo español

Las competencias en materia educativa para las enseñanzas no universitarias se encuentran repartidas entre el Estado, las diferentes Comunidades Autónomas, las corporaciones locales y los propios centros docentes según lo indicado en la Tabla 3. Esta distribución de competencias permite que cada centro docente pueda contar con características diferenciadoras en su enseñanza pero garantiza la que los estudiantes de todo el territorio español adquieran unas competencias básicas similares (BOE, 2006).

Tabla 3. Distribución de competencias para enseñanzas no universitarias

Distribución de principales competencias en materia educativa (para enseñanzas no universitarias)	
Estatal	Ordenación general del sistema educativo. Requisitos mínimos de centros y enseñanzas mínimas Cooperación internacional Alta Inspección Ordenar las enseñanzas básicas que garantizan el derecho y el deber de conocer la lengua castellana Control y supervisión de actividades de investigación Regulación de los títulos académicos y profesionales Diagnóstico del sistema educativo con carácter estatal Planificación general de inversiones Política de ayudas al estudio Centros públicos en el extranjero Estadística educativa para fines estatales
Comunidades Autónomas	Titularidad administrativa en su territorio, Gestión del funcionamiento de centros Inspección Educativa Orientación y atención al alumnado Supervisión de materiales curriculares Construcción, equipamiento y reforma de centros Gestión de becas y ayudas al estudio Desarrollo de las disposiciones del Estado en materia de programación de la enseñanza Gestión de personal Suministro de datos para la elaboración de las estadísticas educativas nacionales e internacionales que efectúa el Estado Tramitación y concesión de subvenciones a los centros docentes privados Regulación de la composición y funciones del Consejo Escolar
Administración Local	Conservación, mantenimiento y reforma de los centros de Educación Infantil, de Educación Primaria y de Educación Especial Provisión de solares para la construcción de centros públicos Actividades extraescolares y complementarias Supervisión del cumplimiento de la escolaridad obligatoria Consejos Escolares de ámbito municipal
Centros docentes	Gestión organizativa, pedagógica y económica acorde a la normativa

En el ámbito de la educación superior las universidades tienen autonomía de gobierno, académica, financiera y gestionan el personal incluyendo también los procesos de selección, contratación y promoción del profesorado. Poseen también las competencias relacionadas con la creación de nuevos centros y de la enseñanza a distancia. La gestión de admisión de sus estudiantes así como la constitución de fundaciones y otras figuras jurídicas para el desarrollo de sus fines son competencia de las propias universidades. Pueden además definir la colaboración con otras entidades para la movilidad de su personal así como diseñar y proponer planes de estudio que se adecúen a sus recursos y su grado de especialización y competencia en la materia.

2.2.1. Enseñanza no superior

La enseñanza no superior comprende tres etapas cuyos aspectos más relevantes se estudian a continuación.

A. La educación infantil

La educación infantil es una etapa no obligatoria que comprende entre los 0 a 6 años de edad y es una etapa en la que se cursa un primer ciclo que corresponde a las escuelas de educación infantil y una segunda etapa que puede cursarse tanto en estas escuelas como en centros de educación infantil y primaria. Pese a que es no obligatoria es gratuita en su segundo ciclo.

B. La educación obligatoria

La educación es obligatoria en España entre los 6 y los 16 años comprendiendo dos etapas educativas diferenciadas, la Educación Primaria y la ESO, mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución de la educación obligatoria

Etapa	Organización	Edades
Educación Primaria	Tres ciclos de dos cursos cada uno	6-12 años
Educación Secundaria Obligatoria (ESO)	Cuatro cursos	12-16 años

En la etapa de Educación Primaria se valora cuál es la evolución del estudiante mediante una metodología basada en la evaluación global y continua. Dentro de cada uno de los ciclos, que comprenden tres cursos cada uno, se promociona de forma automática, pero la promoción de uno a otro ciclo depende de si se han conseguido o

no los objetivos curriculares del ciclo cursado. La finalización de la Educación primaria no conlleva la emisión de ninguna certificación académica oficial.

En los estudiantes de la ESO se lleva a cabo una evaluación del aprendizaje continua y que es diferente en función de la materia. Cuando un estudiante termina la ESO y ha cumplido los objetivos fijados en la ley para considerar que ha cumplido con los requisitos de la etapa recibe el título de Graduado en Educación Secundaria Obligatoria, que faculta el acceso al Bachillerato y a la formación profesional de grado medio. Los estudiantes que no cumplen los requisitos y no obtienen el título reciben un Certificado de Escolaridad.

C. La educación secundaria postobligatoria

La educación secundaria no es obligatoria y consta de tres ramas diferenciadas:

- Una académica, que consiste en el Bachillerato
- Una rama profesional que consiste la formación profesional de grado medio
- Una rama profesional que consiste en las enseñanzas profesionales de régimen especial de grado medio.

En la Tabla 5 se detallan las principales características de cada una de las ramas de la enseñanza postobligatoria así como la organización y las edades del estudiante durante las etapas.

Tabla 5. Educación secundaria postobligatoria: ramas y características

Enseñanza			Institución	Organización	Edades
Bachillerato			Instituto de Educación Secundaria	2 años	16-18
Ciclos formativos de grado medio			Instituto de Educación Secundaria Centro de Referencia Nacional Centro Integrado de Formación Profesional	1½ a 2 años	16-18
Enseñanzas profesionales de régimen especial de grado medio	Enseñanzas artísticas profesionales	Enseñanzas de Música y Danza	Conservatorio	6 a 8 años	No se especifica en la legislación

Tabla 5. Educación secundaria postobligatoria: ramas y características (continuación)

Enseñanza		Institución	Organización	Edades
Enseñanzas profesionales de régimen especial de grado medio	Enseñanzas artísticas profesionales	Escuela de Arte	Duración variable	Mínimo 16 ó 17 años
	Enseñanzas de Artes Plásticas y Diseño de Grado Medio	Centro de Referencia Nacional		
	Enseñanzas Deportivas de Grado Medio	Centro Integrado de Formación Profesional	Mínimo 1.000 horas	Mínimo 16 ó 17 años
		Centro de enseñanza militar		

2.2.2. Educación superior

Dentro del sistema educativo español la enseñanza superior está constituida por 5 tipos diferenciados de enseñanza que corresponden a:

- Enseñanza universitaria
- Formación profesional de grado superior
- Enseñanzas artísticas superiores
- Enseñanzas profesionales de Artes Plásticas y Diseño de grado superior
- Enseñanzas deportivas de grado superior

Dentro del ámbito de la enseñanza superior universitaria se ha llevado a cabo durante los últimos años el proceso de adaptación de la universidad española al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Este proceso de adaptación ha supuesto también la creación de un nuevo marco de regulación y normativo que ha reestructurado las enseñanzas universitarias en tres tipos de estudios: estudios de Grado (240 créditos), Máster (entre 60 y 120 créditos) y Doctorado.

En el curso académico 2010/2011 ha quedado implantada esta nueva estructura de enseñanza universitaria de modo que no se han ofertado plazas de nuevo ingreso

para las antiguas titulaciones de Diplomado, Licenciado, Arquitecto Técnico, Arquitecto, Ingeniero Técnico e Ingeniero.

La enseñanza universitaria es catalogada con un nivel International Standard Classification of Education (ISCED) ISCED 5A y es impartida en facultades universitarias, escuelas técnicas superiores, escuelas politécnicas superiores y escuelas universitarias.

La formación profesional de grado superior constituye la segunda modalidad de educación superior y se puede cursar en centros institutos de educación secundaria en los que se imparte ESO y Bachillerato, en centros de referencia nacional o en centros integrados de formación profesional.

El tercer subgrupo de educación superior lo constituyen las enseñanzas artísticas superiores que presentan una clasificación ISCED 5A y que se imparten en conservatorios superiores en el caso de los estudios superiores de Música y Danza y en escuelas superiores para los estudios superiores de Arte Dramático, Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Artes Plásticas y Diseño. Todos ellos son centros de enseñanza públicos.

El cuarto subgrupo de educación superior lo forman las enseñanzas profesionales de Artes Plásticas y Diseño de grado superior que poseen una clasificación ISCED 5B y que son impartidas en los centros públicos denominados escuelas de arte.

Finalmente el último subgrupo está formado por las enseñanzas deportivas superiores que cuentan con un nivel ISCED 5B y que pueden ser impartidos en centros de formación públicos o privados que han de estar autorizados por la administración educativa competente y en centros docentes del sistema de enseñanza militar.

2.2.3. Comparativa con el sistema educativo norteamericano

Dado que se busca en la presente tesis la concepción de un laboratorio remoto de eficiencia energética que permita la implantación y uso entre el mayor número posible de usuarios se analiza en este apartado la comparativa de la estructura del sistema educativo español con el sistema educativo estadounidense ya que en este territorio existe un elevado potencial en materia de formación en eficiencia energética y es por lo tanto un objetivo potencial del desarrollo realizado en esta tesis. Se realiza por lo

tanto una descripción del sistema norteamericano y posteriormente una valoración comparativa de ambos.

El carácter de la enseñanza en Estados Unidos está configurado por dos aspectos fundamentales: su diversidad y su dimensión. El carácter multicultural es el que proporciona la elevada diversidad mientras que la dimensión tiene su origen en la legalidad existente.

La dimensión del sistema educativo tiene como antecedente histórico el que Estados Unidos siempre ha concedido a la educación la máxima prioridad; ya en la época de los primeros colonos se concedía un terreno específico para la escuela pública. Desde épocas tempranas se tomó la decisión de hacer obligatoria la educación pública universal en nivel elemental y en nivel de secundaria. Existen universidades de referencia como Columbia y Harvard que dedican importantes partidas económicas a la investigación e innovación en materia educativa. En cuanto al aspecto de la diversidad hay que mencionar como aspecto relevante que esto afecta a todos los niveles educativos: composición del alumnado, cuotas raciales en programas especiales e incluso los niveles salariales de los administradores dependiendo de su origen étnico.

En Estados Unidos no existe un sistema nacional de educación ya que se considera que la educación ha de estar ligada de forma directa a cada estado. El Departamento Federal de Educación trabaja recopilando información y datos estadísticos y financiando algunas partidas especiales. Se afirma que la educación es una prioridad nacional pero que la función ha de ser local: la constitución no menciona ni contempla un sistema educativo que se responsabiliza del gobierno federal por lo que todo lo relacionado con la enseñanza es delegado en cada estado.

2.2.3.1. Comparativa entre ambos sistemas

El sistema educativo ha sufrido rápidos cambios desde la restauración de la democracia siendo uno de los más relevantes que en este periodo se han establecido tres niveles competenciales en el mismo, tal y como se ha detallado anteriormente. Poseen competencias educativas, en diferentes niveles, la administración central, la administración autonómica y la administración local, siendo la administración central la encargada de velar por que se cumplen los requisitos exigidos en cada autonomía.

Con las últimas reformas educativas implantadas en España los sistemas educativos español y estadounidense han adquirido una elevada similitud en cuanto

a niveles educativos y requisitos de obligatoriedad. En la Tabla 6 se muestra un esquema que permite comparar la tipología fundamental de ambos sistemas educativos, resaltando de sus similitudes.

Tabla 6. Comparativa entre sistemas educativo español y estadounidense

Sistema educativo español		Edad	Sistema estadounidense						
Módulos niveles 3, 4 y 5	Universidad		Doctorate						
		23	Masters						
		22	Senior-Four year degree course						
		21	Junior-At University						
		20	Sophomore	Junior	Technical				
		19	Freshman	College	School				
Módulo nivel 2	2º	Bachillerato	18	12º	High School	Secondary School	Senior high school		
	1º		17	11º					
Garantía social	4º	Educación secundaria obligatoria	16	10º				Middle School	Junior high school
	3º		15	9º					
	2º		Educación primaria	14			8º	Elementary school	
	1º			13			7º		
	6º	12		6º	Kindergarten				
	5º	11		5º					
	4º	10		4º					
	3º	9		3º					
	2º	8		2º					
	1º	7		1º					
Educación infantil		6	Nursery School						
		5							
		4							
		3							
		2							
		1							

2.2.3.2. Recursos dedicados a educación

España se encuentra inmersa en una serie de reformas estructurales de reducción del déficit público que están dando como resultado una reducción de los recursos económicos empleados en educación.

Se ha realizado una recopilación exhaustiva de datos sobre la situación actual en inversión en educación utilizando para ello datos proporcionados por EURYDICE.

La Tabla 7 muestra el gasto en millones de euros y en porcentaje del Producto Interior Bruto (PIB) que representa la educación en España. Este valor se eleva hasta un 4,4% en la actualidad si bien representa un valor bajo en comparación con otros

países desarrollados e incluidos en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (EURYDICE, 2010a).

Tabla 7. Gasto educativo en España

	Importe (millones de euros)	%P.I.B ¹
Gasto público ²	46.452,6	4,4
Gasto de las familias ³	8.615,0	0,8

Este gasto educativo se reparte en diferentes proporciones en función del nivel educativo y de la partida de gasto. Ante la situación actual es necesario optar por una optimización global del sistema educativo que incremente notablemente su eficiencia y eficacia con el objetivo de poder hacer frente a una educación que debe tener unos niveles de calidad similares pero con unos recursos cada vez menores (EURYDICE, 2010a).

En la Tabla 8 se muestra la distribución de la inversión en educación en España según datos del año 2011, observándose que la educación universitaria supone una partida de gasto del 20,1%, nivel también bajo en comparación con otros países de nuestro entorno o con los países avanzados que forman parte de la OCDE (EURYDICE, 2010b), (EURYDICE, 2010c). Ante esta situación se enmarca esta tesis que busca la posibilidad de implantar enseñanzas de calidad en eficiencia energética con un coste bajo, una tasa de obsolescencia nula y una total transversalidad en el sistema, (EURYDICE, 2010b).

¹ P.I.B. base año 2000. Instituto Nacional de Estadística.

² Estadística del Gasto Público en Educación. Oficina de Estadística, Ministerio de Educación. Se refiere al gasto en educación (presupuestos liquidados) del conjunto de las administraciones públicas, incluyendo universidades.

³ Se refiere exclusivamente a los pagos de las familias por servicios educativos a centros, academias y clases particulares, sin incluir los gastos.

Tabla 8. Distribución de gastos en educación en España

Concepto	Importe (miles de euros)	% con respecto al gasto público total
Gasto público total	46.452.604	100
Gasto de las administraciones públicas	44.393.883	95,6
Educación no universitaria (total)	32.246.497	69,4
Educación Infantil y Primaria	13.504.565	29,1
Educación secundaria y formación profesional	13.154.760	28,3
Enseñanzas de régimen especial	927.517	2
Educación especial	1.013.760	2,2
Educación de adultos	366.285	0,8
Educación en el exterior	121.553	0,3
Servicios complementarios	806.172	1,7
Educación compensatoria	329.124	0,7
Actividades extraescolares y anexas	551.197	1,2
Formación y perfeccionamiento del profesorado	266.776	0,6
Investigación educativa	143.561	0,3
Administración general	1.015.114	2,2
Otras enseñanzas superiores	46.113	0,1
Educación universitaria ¹	9.335.988	20,1
Formación ocupacional	1.549.071	3,3
Becas y ayudas totales	1.465.269	3,1
Becas por exención de precios académicos	-202.941	-0,4
Gasto no distribuido	3.492.504	7,5
Partida de ajuste	-1.433.783	-3,1

2.3. CONTEXTO ENERGÉTICO. NECESIDAD DE FORMACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

La implantación de medidas de mejora de eficiencia energética y de integración de energías renovables constituye en sí misma la mayor herramienta de dinamización del mercado laboral y profesional, al crear una demanda de profesionales cualificados en la materia. Esto no sólo impulsa la formación de nuevos técnicos en la materia sino también el reciclaje y la readaptación de los actuales trabajadores para dotarles de las capacidades, conocimientos y habilidades necesarias para llevar a cabo estos proyectos. Es responsabilidad de los diferentes sectores educativos y de las propias empresas dar solución a este problema. La administración, desde su punto de vista de regulador del sistema no sólo a nivel educativo sino también de política energética, ha creado un entorno favorecedor de estas necesidades que obligan, más que nunca, a plantear una solución global y de conjunto para la mejora de la eficiencia energética. En este planteamiento el capital humano, representado por la formación, se presenta como una herramienta imprescindible para lograr el fin buscado. El marco de actividad no puede dejarse de lado en un proyecto como el que aborda esta tesis, de hecho las condiciones de contorno limitan y condicionan las soluciones. Dentro del propósito de la misma está como punta de lanza el ofrecer un desarrollo único y realmente implantable en este ámbito.

En este apartado se estudia cuál es el marco de actividad en el que el laboratorio de eficiencia energética va a realizar sus labores formativas, tanto a nivel profesional como en el ámbito educativo. Se analizan cuáles son los sectores objetivo en esta materia y el entorno coyuntural en el ámbito de la promoción del ahorro energético y de la mejora de la eficiencia, ya que estos son críticos para garantizar el éxito de la solución. Se estudia además qué potencial poseen en la actualidad las actividades de mejora de la eficiencia energética para captar clientes, aspecto que determinará el éxito del laboratorio.

2.3.1. Situación del mercado de la eficiencia energética en España

2.3.1.1. Agentes en el sector

Dentro de este análisis se va a considerar agente del mercado de la eficiencia energética a toda persona física o jurídica que interviene en las transacciones económicas que tengan lugar en dicho mercado. Se analizan aquí los agentes

involucrados en la oferta de productos y servicios relacionados con la eficiencia energética.

- Administración Pública: su actividad consiste en el desarrollo de normativa de ahorro y eficiencia energética (estrategias, objetivos de ahorro, subvenciones, regulación técnica) y en el propio consumo de servicios y productos eficientes.
- Fabricantes de componentes y productos finales: un fabricante o productor es la persona (normalmente jurídica) dedicada a una actividad fabril de elaboración de productos para la mejora de la eficiencia energética para su posterior comercialización.
- Empresas de servicios de ahorro y eficiencia: organizaciones que proporcionan servicios relacionados con el consumo energético en las instalaciones de un usuario determinado. En este grupo se incluyen Empresas de Servicios Energéticos (ESEs), entidades de certificación energética, realización de auditoras energéticas, consultoras, verificadoras, etc.
- Instituciones Financieras: su actividad consiste en financiar proyectos de ahorro y eficiencia.
- Suministrador Energético: es el encargado de suministrar la energía al consumidor final. Hay que puntualizar que las ESEs pueden actuar de suministradores de energía como parte de su contrato de servicios energéticos.

En el ámbito de la eficiencia energética se pueden destacar que existen dos grandes ámbitos de actividad; los productos de mejora de la eficiencia energética y los servicios de mejora de la eficiencia energética.

Dentro del ámbito de los productos que los fabricantes están diseñando con el objeto de mejorar la eficiencia energética se podrían destacar, para el ámbito residencial, transportes y terciario:

- Calderas de condensación y sistemas de baja temperatura
- Sistemas de bomba de calor
- Cerramientos para baja demanda energética
- Iluminación eficiente

- Electrodomésticos de gama blanca de alta eficiencia energética
- Calefacción de distrito y frío de distrito (district heating/cooling)
- Vehículos de bajas emisiones
- Vehículo eléctrico

Todos estos productos requieren de una formación específica para su comercialización, puesta en marcha y mantenimiento, lo que genera una necesidad formativa. Estas necesidades son las que aprovecha este desarrollo propuesto para asegurar el éxito y proporcionar un avance a la ciencia y a la tecnología.

No sólo existen productos destinados a la mejora de la eficiencia energética sino que además de estos existe un buen número de servicios asociados a este objetivo final, parte de los cuales son prioritariamente ofertados por ESEs y sobre los que el laboratorio puede ejercer una acción primordial y bidireccional: la formación del personal especializado de las ESEs y la promoción y realización de experimentos y simulaciones que permitan a los potenciales clientes conocer y estimar su potencial de ahorro.

Las ESEs deben de actuar como motores y promotores del ahorro energético facilitando soluciones a todo tipo de cliente final. La definición de una ESE es, según la directiva 2006/32/CE, “una persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo”. La empresa de servicios energéticos es también conocida como ESE por sus siglas en español, o ESCO por las siglas en inglés, derivadas del término Energy Service Company.

Aun pudiendo realizar actividades similares hay que discernir entre el concepto de empresa de servicios energéticos y el de empresa proveedora de servicios energéticos (habitualmente referidas mediante su terminología anglosajona, ESPC – Energy Service Provider Company), pues existen algunas especificidades presentes en las Empresas de Servicios Energéticos que es necesario destacar:

- Una ESE garantiza ahorros de energía y/o la provisión del mismo servicio energético a coste menor ejecutando proyectos de eficiencia energética.
- Los beneficios de las ESEs están directamente asociados a los ahorros de energía conseguidos.

- Las ESEs pueden financiar o ayudar a conseguir financiación de la instalación ofreciendo como garantía los futuros ahorros de energía.
- Las ESEs participan de la posterior operación de la instalación midiendo y verificando los ahorros conseguidos durante el periodo de tiempo que dure la financiación.

Además, como servicios específicos y complementarios a su propia actividad, una ESE puede ofrecer:

- Servicios de consultoría energética.
- Implantación y mantenimiento de Sistemas de Gestión Energética (SGE).
- Estudios de viabilidad de mejoras energéticas.

Tras haber realizado un análisis de las soluciones a ofertar y los posibles clientes de cada una de ellas, se ha detectado que la matriz relacional entre servicios/productos y clientes se puede resumir en la relación mostrada en la Tabla 9.

Tabla 9. Sectores de aplicación de técnicas de eficiencia energética y de formación con el laboratorio

	Residencial	Empresas	Administración Pública
Optimización contratos	X	X	X
Auditorías energéticas		X	X
Subcontratación gestión energética		X	X
Sistemas gestión energía		X	X
Empresa servicios energéticos	X	X	X
Rehabilitación energética	X	X	X
Edificación alta eficiencia	X	X	X
Planificación movilidad urbana			X
Planificación transporte trabajo		X	X
Domótica/Inmotica	X		X

Pese a la detección de todos estos sectores objetivos y de los claros beneficios derivados, la actividad está sujeta a unos importantes condicionantes que limitan dicho aspecto, entre los que destacan:

- Supone un riesgo elevado.
- Supone abrir nuevas vías de negocio con el riesgo asociado a la falta de know-how.
- Requiere de vías de financiaciones muy específicas y amplias.

Como parte básica y fundamental para poder determinar el marco de actividad, los servicios a ofrecer en cada uno de ellos, el potencial y las necesidades de formación, se ha realizado en el marco de la tesis un detallado análisis sectorial de mercado de la eficiencia energética. Se presentan a continuación los resultados más significativos sobre los vectores de demanda de los servicios del laboratorio dentro de este sector.

2.3.1.2. Sectores con potencial de mejora de la eficiencia energética

Para conocer cuál es el potencial de ahorro energético es necesario analizar cuál es el consumo energético en el país y de qué forma se distribuye, detectando así las áreas con mayor relevancia y que serán potenciales demandantes de servicios del sistema de laboratorio propuesto. Según los últimos datos existentes en el Informe Anual de Consumos Energéticos del IDAE del año 2010 (IDAE, 2011c) el consumo de energía final en España ascendió a 93.170 ktep frente a un valor de 91.290 ktep en el año 2009. La cifra del 2009 suponía una bajada del 7,4% con respecto al año 2008 mientras que en el año 2010 se ha producido un incremento del 2,3% frente al consumo del año 2009. La Fig. 6 muestra el consumo porcentual de energía final por sector y en la Tabla 10 aparece el valor porcentual para dichos sectores junto con la variación experimentada frente al año 2009.

Tabla 10. Consumo de energía final por sector año 2010

Consumo de energía final por sector (%)		
Sector	Año 2.010	Δ 10/9
Industria	29%	6,7%
Transporte	40%	-1,7%
Residencial	18%	4,9%
Servicios	10%	2,9%
Agricultura	3%	-0,5%

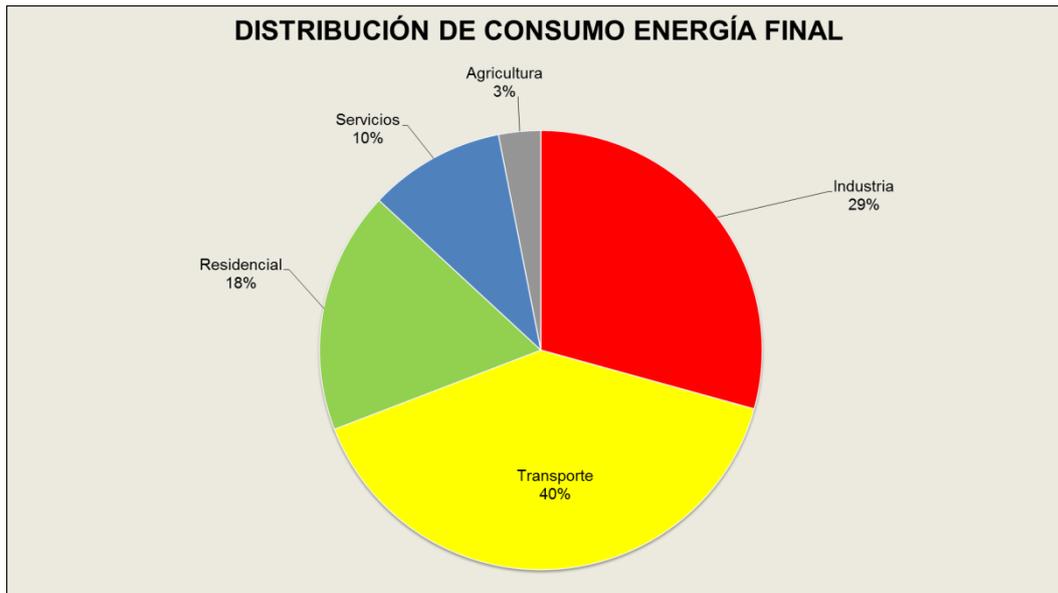


Fig. 6. Distribución de consumo energía final año 2010

Para todos estos sectores se ha realizado en el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 (PAEE 2011-2020) un análisis sobre el potencial de ahorro existen. Estos valores estimados de ahorro aparecen en la Fig. 7 (IDAE, 2011b).

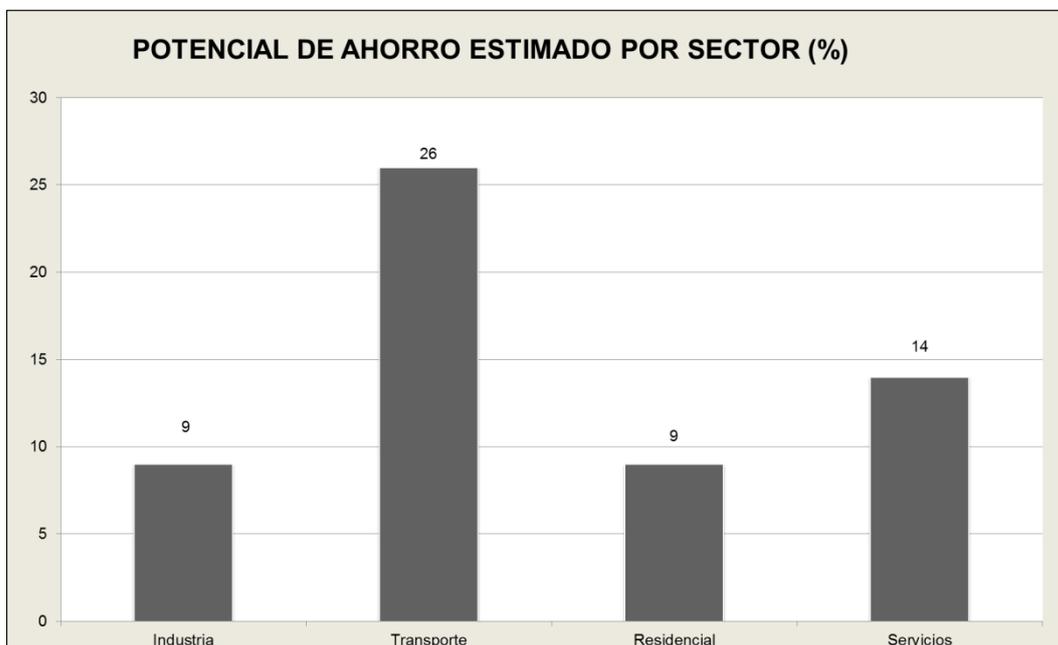


Fig. 7. Potencial de ahorro sectorial

Cabe llamar la atención sobre el elevado potencial de ahorro que presenta el sector transporte debido a la obsoleta tecnología utilizada (vehículos con una edad media de 10 años) por lo que existe un importante potencial de ahorro energético en este ámbito, si bien no se considera objeto principal del sistema de laboratorio propuesto

puesto que la aplicación de medidas de mejora no están al alcance del técnico o usuario final sino que prácticamente la única posibilidad de ahorro consiste en la sustitución del vehículo por uno de mayor eficiencia. Es también elevado el potencial de ahorro en el ámbito industrial, donde las tecnologías utilizadas no se han ido adaptando a los nuevos desarrollos con un desempeño energético mucho mejor. La Fig. 8 muestra el potencial de ahorro cuantitativo en ktep para cada uno de los sectores y la Fig. 9 muestra un valor totalizado de las posibilidades de ahorro.

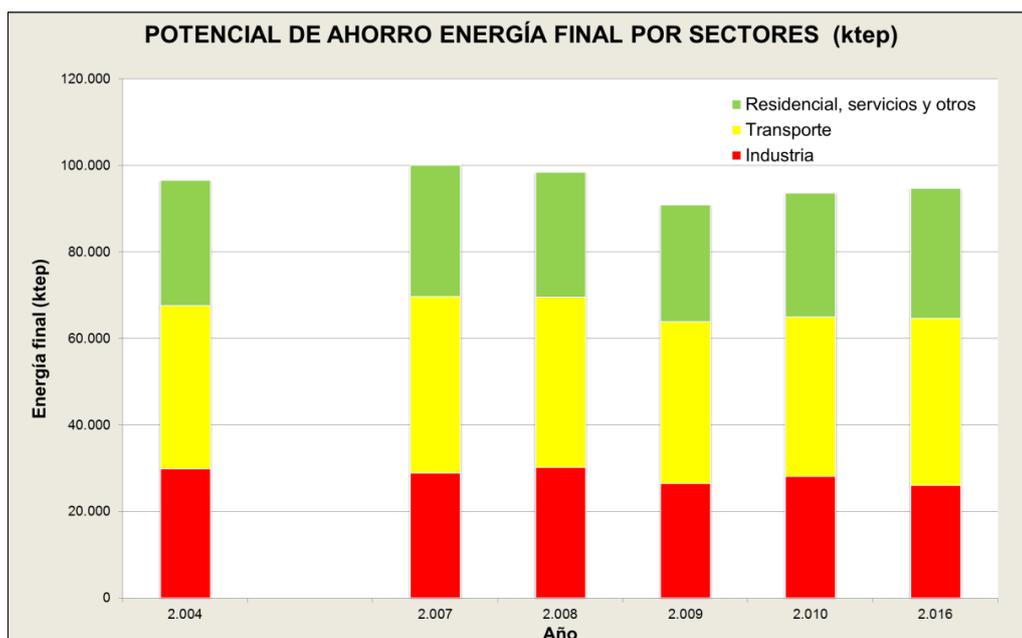


Fig. 8. Potencial de ahorro energía final por sectores

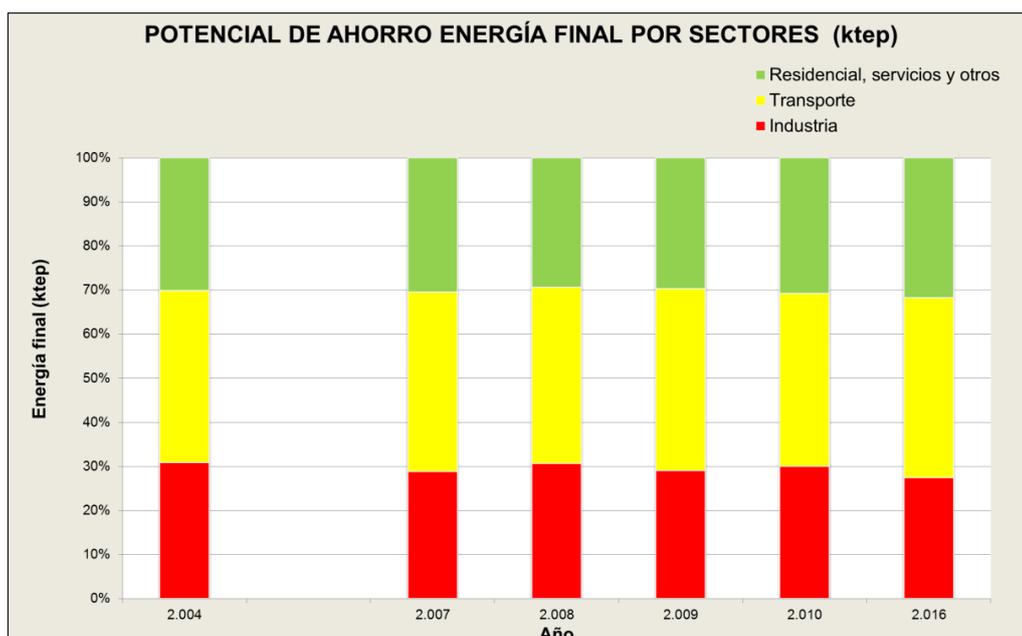


Fig. 9. Potencial de ahorro porcentual totalizado por sectores

La Unión Europea, a través de estudios promovidos por la Comisión Europea, ha realizado una previsión del potencial de ahorro obtenible en el periodo 2010-2030 para cada uno de los sectores (IDAE, 2011b). Merece la pena detallar que el ahorro en el sector residencial va a seguir aumentando durante los próximos años como consecuencia de las mejores tecnologías de aislamiento y de pasivización de edificios. El sector terciario presenta también un potencial de ahorro creciente mientras que la industria se mantiene estable.

2.3.2. Potencial de ahorro energético y formación en el ámbito de los Servicios Energéticos

La Comisión Europea considera el mercado de los Servicios Energéticos (SSEE) como el principal vector para mejorar la eficiencia energética dado que con esta fórmula se puede tener la capacidad técnica y financiera para actuar, además de existir un interés en obtener una mejora real. Para analizar el mercado potencial en el ámbito de los SSEE es necesario utilizar como documentos de referencia la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) 2004 – 2012 y los Planes de Acción elaborados hasta la fecha. Con esta información y un detallado análisis se puede obtener un diagnóstico real de la situación de este mercado y de las necesidades de formación de profesionales en la materia.

La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) definió un escenario base continuista según el crecimiento económico, en el cual no se consideraban medidas de ahorro y eficiencia energética. Las conclusiones revelaban un crecimiento del consumo energético primario del 3,1% anual, definiéndose otro escenario con un crecimiento más amortiguado del 2,14% en términos de energía final consumida, consiguiendo una mejora cercana al 1% anual.

Posteriormente, el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia 2008–2012 incluyó esfuerzos adicionales obteniendo un nuevo escenario conocido como Eficiencia Plus por el cual se conseguiría una reducción del consumo de energía mayor que los escenarios anteriormente citados, estimándose un incremento del consumo de energía primaria en un 1,07% anual. Los últimos datos de consumo energético sectorial se presentan en la Tabla 10 mostrada en el apartado anterior.

En el año 2011 el IDAE ha dado a conocer el nuevo PAEE, donde se tienen en cuenta los resultados de los planes de acción llevados a cabo hasta ahora y donde se integran las exigencias derivadas del plan 20-20-20 (mejora del 20% de la eficiencia energética, reducción del 20% de las emisiones de CO₂ y generación eléctrica

renovable del 20%) de la Unión Europea (CEC, 2006). En la Tabla 11 se muestran los potenciales de ahorro de energía primaria y final para cada tipo de uso en el horizonte 2020.

Tabla 11. Ahorros de energía primaria y final horizonte 2020

Sector	Ahorros energía final (ktep)			Ahorros energía primaria (ktep)		
	Año					
	2.010	2.016	2.020	2.010	2.016	2.020
Industria	-2.866	2.489	4.489	-5.717	2.151	4.996
Transporte	4.561	6.921	9.023	4.909	8.680	11.752
Edificación y equipamiento	2.529	2.674	2.867	4.189	5.096	5.567
Servicios públicos	29	56	125	67	131	295
Agricultura y pesca	467	1.036	1.338	580	1.289	1.665
Total sectores finales	4.720	13.176	17.842	4.028	17.347	24.275
Sectores de transformación de la energía				7.019	9.172	11.311
Refino de petróleo				39	-137	-88
Generación eléctrica				6.909	8.169	9.701
Cogeneración				71	1.141	1.699
Total sectores final y transformación	4.720	13.176	17.842	11.047	26.519	35.586

Las medidas incluidas en el PAEE 2011-2020 reportarán un ahorro de energía final en el año 2020 de 17.842 ktep y de energía primaria de 35.585 ktep, calculados con referencia al año 2007 y de acuerdo con la metodología propuesta por la Comisión Europea. El ahorro, en términos de energía primaria, incluye los ahorros derivados de las medidas propuestas para el sector de transformación de la energía. Este sector tiene un apartado específico y de gran importancia en el Plan, principalmente de fomento de la cogeneración y los derivados del cambio en el mix de generación eléctrica, estimulado por otras planificaciones en materia de política energética ajenas al mismo y que responden a las obligaciones que se derivan de la Directiva 2009/28/CE, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (CEC, 2009).

El ahorro anterior, en términos de energía primaria, equivale a un 20% del consumo de energía primaria que habría tenido lugar en 2020 en ausencia de las políticas de diversificación y promoción de las energías renovables aprobadas por el Gobierno español y del PAEE. Sin estas acciones el consumo de energía primaria habría ascendido a 177.798 ktep. Este ahorro, una vez descontados los sectores no incluidos en el ámbito de aplicación de la Directiva 2006/32/CE, se reduciría a 11.532 ktep/año en 2016.

En términos relativos al consumo promedio de los cinco últimos años previos a la entrada en vigor de la Directiva supone el 15,9% del total. Cabe recordar, en este punto, que el objetivo no vinculante fijado por la Directiva anterior para todos los Estados miembros en el año 2016 se sitúa en el 9%. Cabe mencionar que el Plan de Acción 2011-2020 cumple, por tanto, con los objetivos de ahorro exigidos por la Directiva 2006/32/CE y es coherente con los objetivos globales acordados por el Consejo Europeo el de junio de 2010, en relación con la mejora de la eficiencia energética primaria en un 20% en 2020 (CEC, 2006).

La consecución de dichos objetivos en los sectores cubiertos por el presente Plan (todos los sectores consumidores finales más el sector Transformación de la energía) será posible con una aplicación de apoyos a gestionar por el sector público de 4.995 millones de euros durante el período 2011-2020 que, junto con las medidas normativas, movilizarán un volumen de inversión de 45.985 millones de euros. Los ahorros acumulados de energía final y primaria durante el período 2011-2020 ascienden a 120.967 ktep y 247.791 ktep, respectivamente.

Teniendo en cuenta los diferentes sectores de actividad en la mejora de la EE el IDAE plantea que los ahorros de energía final del plan 2011-2020 se distribuirán, en nivel de importancia porcentual, del siguiente modo: al sector transporte se atribuye el 51% del total de los ahorros en 2020 y le sigue en importancia el sector industria, con ahorros equivalentes al 25% del total. Estos ahorros darán como resultado una disminución del consumo de energía final, entre los años 2007 y 2020, del 13% en el sector industria y del 5% en el sector transporte.

2.3.2.1. Sector transporte

En el sector transporte, los ahorros se atribuyen al modo carretera en un 77%, y al modo ferrocarril en un 22%, principalmente asociado al tráfico de mercancías. En este campo del transporte de mercancías es donde el PAEE 2011-2020 asume los objetivos de cambio modal e incremento de los tráficos por ferrocarril incorporados en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT). De manera más concreta, el PAEE asume que la cuota de los tráficos de pasajeros por ferrocarril se duplicará en 2020 (desde el 6% de 2011, hasta el 11% de 2020) y la de los tráficos de mercancías se multiplicará por 3, lo que reducirá notablemente los consumos unitarios por pasajero o tonelada-kilómetro transportada. Asimismo, la consecución de los ahorros propuestos en el sector transporte está fundamentada en la mejora tecnológica de los vehículos y, en especial, en la introducción del vehículo eléctrico en los términos recogidos en la Estrategia Integral de Impulso del Vehículo Eléctrico en

España (MINETUR, 2010), que marca como objetivo para 2014 la integración de 250.000 vehículos en el parque automovilístico. Este Plan 2011-2020 asume también los objetivos reflejados en el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER) que fija el objetivo de integrar 2,5 millones de vehículos eléctricos en 2020, equivalentes al 10% del parque en ese año.

Este sector, pese a la gran importancia que posee en el consumo de energía final en España no es objetivo potencial de la utilización de laboratorios remotos. El potencial de ahorro obtenible está ligado, de forma casi exclusiva, al cambio de tecnología de vehículos por otros menos contaminantes y a la introducción de sistemas de transporte intermodal para el caso de las mercancías.

2.3.2.2. Sector Edificación

En el sector edificación existe un importante potencial de ahorro en el sector terciario ya que tras analizar los objetivos del plan y la tendencia y previsiones en la venta de equipos de aire acondicionado doméstico, se observa que para el uso vivienda los ahorros en energía final para calefacción, que son principalmente derivados de las medidas propuestas sobre la envolvente edificatoria y de la mejora de la eficiencia energética de los equipos existentes (calderas, equipos de aire acondicionado e iluminación, fundamentalmente) se verán prácticamente compensados por el aumento de la penetración de estos equipos de aire acondicionado doméstico. Por ello se planteará el ahorro en términos cuantitativos y porcentuales frente a la situación actualmente existente y se compararán los consumos de energía previstos frente a los que tendrían lugar sin llevar a cabo las medidas propuestas. Asimismo, deberá conseguirse una importante mejora de los rendimientos de las instalaciones por la introducción en España de las redes de frío y calor siendo los principales precursores de esta introducción las ESEs. Dichas instalaciones facilitarán la entrada de las energías renovables térmicas y la cogeneración posibilitando mediante esta tecnología la generación distribuida de energía eléctrica, evitando pérdidas en transporte y distribución.

Por otra parte, y de forma general para todos los sectores, será necesario el desarrollo de las redes inteligentes (Smart Grids) que permitan la integración de la energía eléctrica generada en pequeñas instalaciones, junto al uso de mecanismos de acumulación avanzados tales como la generación de hidrógeno o el uso mayoritario del vehículo eléctrico. Estos dispositivos de acumulación pueden servir en diferentes momentos como consumidores o generadores según conveniencia del sistema. Para todas estas aplicaciones, así como para la optimización de los sistemas de gestión, será

necesario un importante desarrollo de elementos de medida y control, junto con el desarrollo y aplicación de las TICs. Dentro del sector edificación y equipamiento, considerando de manera conjunta los edificios de uso vivienda y los de uso terciario, los ahorros se atribuyen, en un 73% a las mejoras sobre la envolvente y las instalaciones térmicas, y en un 29% a las mejoras de la eficiencia energética en iluminación. Para este uso final de la energía, iluminación, los ahorros se localizan mayoritariamente en el parque de edificios de uso terciario.

2.3.2.3. Sector servicios públicos

Los ahorros de energía final del sector Servicios públicos representan un 0,7% del total, por reducción de los consumos de energía en plantas de desalación, potabilización y tratamiento de aguas residuales y por reducción de los consumos de electricidad en alumbrado público. El uso e introducción de todas estas tecnologías es susceptible de la realización de ensayos y de la promoción de la formación sobre el tema en el laboratorio propuesto.

2.3.2.4. Sector agricultura y pesca

En el sector agricultura y pesca los ahorros de energía final alcanzarán en el año 2020 el 7,5% del total de los ahorros, por reducción de los consumos energéticos del sector por unidad de valor añadido. Estos ahorros estarán fundamentalmente basados en la implantación de mejores sistemas de propulsión motora en barcos, el uso de vehículos de laboreo más eficientes en la agricultura y por la introducción de sistemas de regadío de alta eficiencia hídrica y energética. Estos sistemas de regadío de alta eficiencia permitirán obtener una mejora conjunta de la eficiencia energética y reducir de forma notable el consumo de agua para riego. La realización de ensayos y de labores de formación en materia de regadíos a la demanda constituye una de las áreas de ensayos del laboratorio y es previsible la existencia de una gran demanda de formación en la materia en los próximos años.

2.3.2.5. Sector de transformación de la energía

En el sector transformación de la energía y en términos de energía primaria, los ahorros derivados de la cogeneración equivalen al 15% del total de los ahorros computados en este sector. En este porcentaje se contabilizan también los ahorros derivados de la mayor penetración de energías renovables en el parque de generación eléctrica. Los sistemas de cogeneración y de poligeneración, en un sentido más amplio, constituyen una de las herramientas fundamentales para la diversificación

energética y para la mejora de la eficiencia energética. La realización de ensayos sobre mejora de la eficiencia energética mediante la utilización de sistemas de poligeneración presenta un importante potencial de formación tanto para nuevos profesionales como para formación de personas activas en el campo energético.

Estas iniciativas para la mejora de la eficiencia energética van a reportar importantes beneficios que serán, por una parte económicos directos y por otra parte económicos indirectos asociados a la generación de empleo y de riqueza. En la Tabla 12 se muestran los beneficios económicos totales asociados al ahorro de energía primaria y a la reducción de emisiones de GEI.

Tabla 12. Beneficios económicos esperados PAEE 2011-2020

Sector	Ahorro económico en M€					
	Por ahorro energía		Por emisiones GEI		Total	
	Acumulado	Promedio año	Acumulado	Promedio año	Acumulado	Promedio año
Industria	38.436	1.844	3.447	345	41.884	4.188
Transporte	13.345	1.334	1.370	137	14.715	1.471
Edificación y equipamiento	2.024	202	164	16	2.188	219
Servicios públicos	430	43	38	4	468	47
Agricultura y pesca	1.925	193	216	22	2.141	214
Transformación de la energía	14.147	1.420	3.094	309	17.292	1.729
Total	70.307	5.036	8.329	833	78.688	7.868

Además de estos beneficios de tipo directo las acciones de mejora de la eficiencia energética producirán importantes beneficios económicos indirectos especialmente asociados a la generación de empleo.

2.3.2.6. Criterios de priorización de actuaciones

El IDAE ha establecido unos criterios para estudiar y valorar cómo priorizar las actuaciones en materia de ahorro energético. En función de estos criterios y del análisis de formación realizado en el presente estudio se concluye que la priorización de actuaciones se puede resumir según la jerarquía mostrada a continuación:

- 1.- Mayor participación del modo ferroviario, área de transporte

- 2.- Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes, área de edificación y equipamiento
- 3.- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes, área de edificación y equipamiento
- 4.- Planes de Transporte de Trabajadores, área de transporte
- 5.- Planes de Movilidad Urbana Sostenible, área de transporte
- 6.- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes, área de edificación y equipamiento
- 7.- Mejora de la tecnología de equipos y procesos mediante implementación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs), área de industria
- 8.- Renovación de las instalaciones de alumbrado público exterior existentes, área de servicios públicos
- 9.- Fomento de plantas de cogeneración en actividades no industriales, área de transformación de la energía
- 10.- Auditorías energéticas y planes de actuación de mejoras en explotaciones agrarias, área de agricultura y pesca

Esta clasificación jerárquica constituye una importante herramienta de análisis para categorizar y definir en qué áreas de actividad y de docencia se van a centrar las actividades del laboratorio.

Tras analizar de forma realista la situación macroeconómica actual y el acceso a la financiación se encuentran a día de hoy evidentes e importantes barreras en el lanzamiento de las actividades de las ESEs, lo que aparece como un importante riesgo en las posibilidades de éxito

2.3.3. Principales actuaciones en cada sector

Se analiza en este apartado cuáles son las principales actividades a llevar cabo en cada sector como principales medidas para mejorar la eficiencia energética, ya que estas serán los focos de atención en la selección de las áreas temáticas del laboratorio que presentarán mayor interés.

2.3.3.1. Sector edificación

Dentro del sector edificación se pueden distinguir dos áreas de actividad fundamental, sector residencial y sector terciario o servicios. Los consumos energéticos que son de interés general y que poseen potencial de ahorro energético son:

- Climatización (calefacción y refrigeración) y agua caliente sanitaria (incluye pequeños equipos de aire acondicionado).
- Iluminación.
- Electrodomésticos y cocinas.
- Equipos ofimáticos.

La tipología de consumo varía en función del uso final del edificio, pudiendo corresponder éste a uso residencial o al sector servicios, presentando ambas tipologías una concentración superior al 75% de su consumo energético en iluminación, calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

En cuanto a las tecnologías de eficiencia disponibles para este sector, cabe destacar que existe una gran variedad con el suficiente grado de madurez como para permitir su implantación. Algunas de las tecnologías susceptibles de implantación en esta área son las siguientes:

- Iluminación eficiente, destacando ahorros de hasta el 80% utilizando tecnología LED.
- Mejoras en los cerramientos de los edificios, con ahorros de hasta el 25% en costes de calefacción y refrigeración.
- Calderas eficientes, con un ahorro de consumo estimado en sector residencial del 10%.
- Sistemas de regulación aplicados a climatización, con ahorros del 20%.
- Sistemas de microgeneración.
- Integración de sistemas de energías renovables para generación térmica (frío y calor).

A. El sector residencial

Los servicios que tienen un mayor peso sobre el consumo energético de los edificios de uso residencial comprenden las instalaciones térmicas (climatización y producción de agua caliente sanitaria) y las instalaciones de iluminación interior. En la Tabla 13 y en la Fig. 10 se muestran los consumos energéticos en el sector residencial siendo clave destacar la importancia que presenta el consumo en calefacción

Tabla 13. Distribución de consumos energéticos en sector doméstico-residencial

Distribución de consumo de energía en sector doméstico (%)	
Tipo de uso	%
Calefacción	47,0
Iluminación	4,0
ACS	26,0
Aire Acondicionado	1,0
Cocina	7,0
Electrodomésticos	15,0

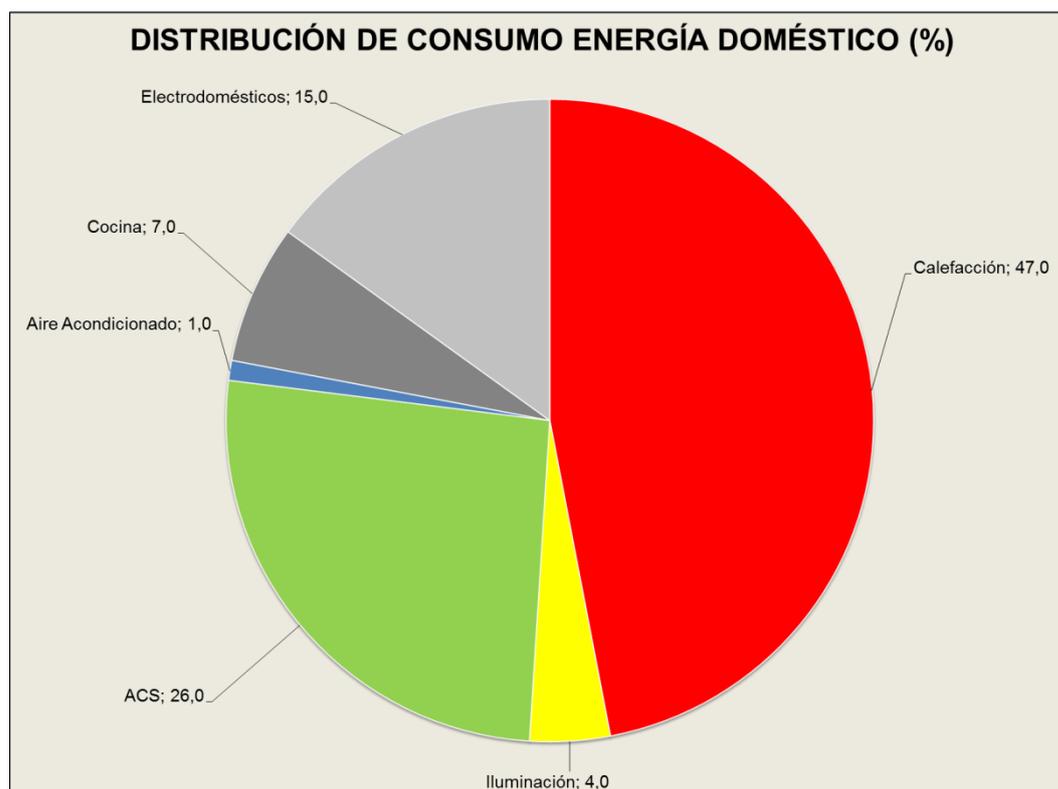


Fig. 10. Distribución consumo energético sector doméstico, gráfico

El consumo de edificios residenciales representa un 17% de la energía final consumida a nivel nacional. El año 2009 se produjo un decremento del 5,5% con

respecto el año 2008, por debajo de la bajada del consumo total de energía final en España, pero en el año 2010 la energía aumentó un porcentaje del 4,9%, lo que rompe la tendencia a disminuir. En este sentido, algunos estudios realizados por organismos y empresas especializadas en este sector presentan un potencial de ahorro del sector doméstico superior al 15% y que tiene un valor fijado en el 17% por el IDAE.

B. El sector servicios

Entre los edificios con usos diferentes al de vivienda, son los de uso administrativo los que tienen un mayor peso en el consumo de energía (en valor absoluto) del sector terciario seguidos por los edificios destinados al comercio, los restaurantes y alojamientos, edificios sanitarios y educativos. Aproximadamente el consumo térmico representa el 30% y el consumo eléctrico un 70%. Los consumos más importantes de los edificios del sector terciario son la refrigeración (30%), calefacción (29%) e iluminación (28%), mientras que la ofimática (4%) y el agua caliente sanitaria (3%) les siguen a gran distancia

Dentro del sector edificación consideramos como principales herramientas de mejora de la eficiencia energética los siguientes campos:

- Mejoras en cerramientos: cerramientos opacos, vidrios y marcos, cubiertas, soleras. Elementos de sombreado pasivo y activo.
- Mejoras en iluminación.
- Mejoras en sistemas de climatización o conocidos habitualmente como Heating, Ventilation, Air Conditioning (HVAC): calderas de alta eficiencia, sistemas de bombas de calor (aire/agua o geotérmicas), sistemas de absorción, recuperación de calor, generación de ACS solar, recuperación de calor.
- Mejoras en la generación energética: energías renovables, microgeneración, poligeneración, conexión a redes de calor y frío.
- Mejoras en electrodomésticos y aparatos electrónicos.

2.3.3.2. Sector industrial

En España el sector industrial está integrado por un conjunto de agrupaciones de actividad, con tipologías y comportamientos muy diferentes en el consumo de energía, siendo algunas de ellas intensivas en consumo energético y con un importante peso del coste energético y otras en donde el peso del coste energético

tiene una escasa importancia. En la Tabla 14 y en la Fig. 11 se muestra la distribución típica de consumos en este sector.

Tabla 14. Distribución porcentual de consumos en el sector industrial

Distribución de consumo de energía en sector industrial (%)	
Tipo de uso	%
Maquinaria	47,0
Iluminación	4,0
Otros usos	26,0

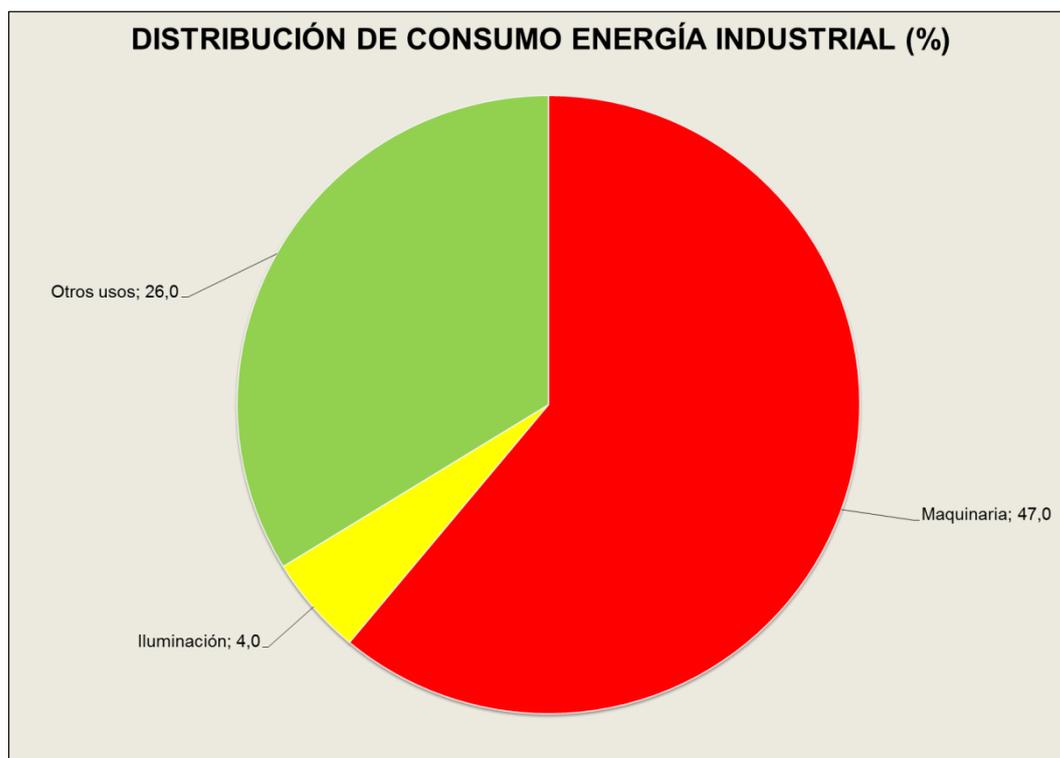


Fig. 11. Distribución de consumos en industria, gráfico

El coste energético puede representar entre un 25 y un 50% de los costes de producción: ello implica que las acciones de ahorro de energía se han llevado a cabo prioritariamente en las actividades industriales intensivas en el consumo de energía. El resto de consumidores industriales las ha abordado cuando ha sido necesario un cambio de su sistema productivo, por razones de producción o de nuevos productos. El ahorro o mejora de la eficiencia energética potencial vendrá determinado por el tipo proceso industrial. Debido a la gran cantidad de actividades industriales que existen, es difícil poder estimar el reparto del consumo energético de forma global.

Los principales sistemas de mejora de la eficiencia energética en el sector industrial se pueden resumir en:

- Calderas de alta eficiencia.
- Bombas de calor.
- Sistemas de compresión de aire de alta eficiencia.
- Motores de alta eficiencia.
- Variadores de velocidad.
- Sistemas de iluminación de alta eficiencia.
- Recuperación de energía.
- Cogeneración, trigeneración, cuatrigeneración en sectores agrícolas (invernaderos).
- Generación mediante energías renovables.
- Recuperación de calor para usos no industriales.

2.3.3.3. Sector transportes

El sector transportes representa aproximadamente el 41% del consumo de energía final en España y supone aproximadamente el 32% de las emisiones de GEI. Este sector ha de experimentar importantes mejoras para poder reducir el consumo energético y la dependencia energética del país, ya que gran parte de los recursos utilizados son combustibles fósiles y derivados importados. Pese a la importancia de este sector no se analiza más en profundidad al no ser objeto de esta tesis la realización de experimentaciones sobre la mejora de la eficiencia energética en vehículos para transporte de personas o de mercancías.

2.3.3.4. Sector público

Según datos mostrados en el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012 los consumos se distribuyen porcentualmente según se muestra en la Tabla 15 y en la Fig. 12.

Tabla 15. Distribución de consumos en el sector público

Distribución de consumo de energía en sector público (%)	
Tipo de uso	%
Alumbrado público	42,0
Abastecimiento agua	14,0
Semáforos	2,0
Potabilización agua	2,0
Depuración de aguas	40,0

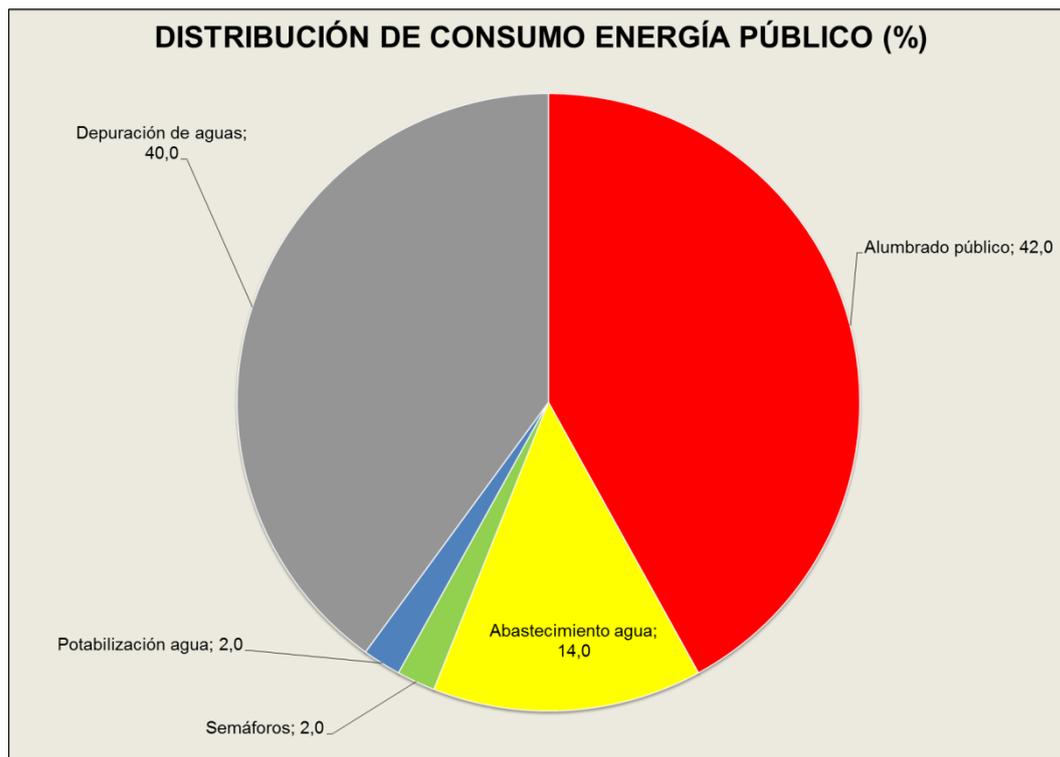


Fig. 12. Distribución de consumos energéticos en el sector público, gráfico

La Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos establece que los Estados miembros velarán por que el sector público cumpla un papel ejemplar en el contexto de la presente Directiva.

En relación a lo anterior, este sector establece grandes posibilidades de ahorro energético, pudiéndose extender sobre todo, a las siguientes tipologías de instalaciones:

- Edificios públicos.
- Alumbrado Público.

- Tratamientos de agua a la población (potabilizadoras, depuradoras, abastecimiento).
- Hospitales.
- Escuelas/Administración pública.
- Piscinas.

La importancia de promover mejoras en este ámbito es crítica en estos momentos y en años venideros ya que en el proceso de recopilación de información que se ha llevado a cabo se ha comprobado que, como dato relevante, para un ayuntamiento el alumbrado público supone más de la mitad del consumo energético, por lo que las actuaciones en esta materia son clave para asegurar la sostenibilidad. Se programarán en este laboratorio actividades de formación y simulación directamente enfocadas en este ámbito sectorial.

Además de por la gran tipología de consumos, la introducción de medidas para la mejora energética en este sector es muy compleja por la diversidad y autonomía administrativa de sus titulares y los procedimientos de contratación pública, en los cuales no existen unas normas básicas de uso generalizado que establezcan un umbral de eficiencia energética. En este sentido, y a modo de ejemplo, la intensidad energética del consumo del alumbrado público y tratamiento de agua a la población, está en relación directa al crecimiento urbanístico y poblacional, que en España ha sido muy elevado en los últimos años. Entre los servicios con una mayor capacidad de penetración en el sector público destacan:

- Auditorías energéticas, estimándose un potencial ahorro de aproximadamente un 19% de las acciones derivadas de estas.
- Actuaciones sobre los sistemas de alumbrado público, estimándose un potencial ahorro de aproximadamente 30%.
- Servicios energéticos para edificios públicos.
- Gestión energética, formando a técnicos municipales en las responsabilidades del gestor energético municipal.

2.3.4. El ámbito específico y el potencial de los SSEE

Es de vital importancia determinar qué actividades en el ámbito de los SSEE poseen un mayor potencial y posibilidades de desarrollo con el objetivo de fijar áreas de interés en materia de formación, no sólo a nivel de profesionales sino también de receptores de actividades de SSEE que necesitan tener conocimientos en la materia para poder contratar y supervisar a las empresas prestadoras del servicio.

Se analizan a continuación los principales parámetros que determinan la actividad de este tipo de empresas.

2.3.4.1. Barreras en el mercado de los SSEE

A la hora de realizar actividades de SSEE a pesar de elevado potencial existente en Europa y concretamente en España siguen existiendo grandes barreras que están imposibilitando un adecuado desarrollo de los estos servicios. Además estas barreras pueden servir para entender por qué pese a lo interesante de esta actividad, la necesidad de aumentar los niveles de eficiencia energética y una creciente apuesta de la administración, las inversiones con esta vía no son todo lo grandes que cabría esperar.

C. Barreras en la tecnología

Las principales barreras a nivel tecnológico pueden resumirse en que existe una lentitud en el proceso de difusión tecnológica: la lentitud de este proceso depende de la incertidumbre sobre los ahorros y de la heterogeneidad de los consumidores.

D. Formación e información

La formación y la información son fundamentales para lograr la penetración en el mercado y el éxito de este tipo de actividades. Es aquí donde el laboratorio de eficiencia energética puede y debe jugar un papel clave para mejorar la implementación de estos servicios. Las principales carencias en el área de la formación y la información se pueden resumir en:

- Falta de información: Como muestran numerosos estudios, ciertos consumidores no disponen de la información suficiente para estudiar las inversiones en ahorro y eficiencia energética de manera correcta.
- Racionalidad acotada: Existe una falta de racionalidad económica por parte de los consumidores, sobre todo domésticos y pymes, que no desean tener en

cuenta todos los aspectos económicos a considerar en la compra de un equipo, sino que se centran principalmente en el coste inicial.

- Falta de formación: Existen carencias en la formación de profesionales que aseguren la calidad de los servicios y permitan el desarrollo del sector en todo su potencial.

E. Aspectos económicos

Los principales aspectos económicos que destacar son:

- Precios de la energía: El precio de la energía no ha internalizado tradicionalmente la totalidad de los costes de suministro.
- Costes de inversión mayores que los previstos: los costes de inversión son mayores que los previstos pues no se calculan costes ocultos o costes de transacción (los costes de transacción se definen como los costes de administrar una relación de intercambio).
- Incertidumbre e irreversibilidad de las inversiones: Las inversiones en ahorro y eficiencia energética son irreversibles, difícilmente se pueden recuperar si se observa que no son rentables. Además son inciertas tanto por la parte de los ahorros que finalmente se verifiquen como por el precio futuro de la energía.

F. Carencias de oportunidad

Las acciones de ahorro y eficiencia energética no suelen ser prioritarias y por tanto acostumbran a quedar pospuestas porque hay acciones más urgentes que llevar a cabo.

G. Fragmentación sociopolítica

Existen condicionantes que no son sólo técnicos sino también de tipo social y político que determinan, de forma a veces más importante que los propios aspectos económicos y técnicos, el desarrollo de las actividades.

- Heterogeneidad de consumidores: Es difícil estudiar la rentabilidad de una actuación de ahorro y eficiencia energética pues lo que para unos usuarios puede ser rentable debido a su continuo uso para otros puede no serlo.

- El problema agente-principal: En ocasiones el encargado de llevar a cabo una inversión de ahorro y eficiencia no será el que posteriormente disfrute del menor coste económico del servicio energético. Esto dificulta la implantación de estas medidas como puede ser en el caso de oficinas o viviendas en régimen de arrendamiento.
- Problema público-privado: Los intereses de la Administración deben converger con respecto a los de los entes privados.

H. Marco Administrativo

La legislación sobre ahorro y eficiencia energética suele ser dispersa y tiene aún potencial de desarrollo. En este sentido son muchas las iniciativas que desde la Comisión Europea se están dando con la idea de incentivar al máximo estas actividades si bien no se han visto reflejadas hasta la fecha en una legislativa nacional clara y unívoca.

2.3.4.2. Medidas a tomar para vencer las barreras y fallos

Además de todas estas barreras es necesario analizar qué fallos suceden en el mercado. El fallo se producirá cuando el suministro de un servicio o de un bien no es eficiente. Las barreras suponen un obstáculo para la entrada al mercado, por lo es necesario conocerlas para poder actuar sobre ellas y controlarlas.

Acorde a este análisis se ha realizado un detallado análisis de Debilidades, Amenazas, Oportunidades y Fortalezas (DAFO) sobre los SSEE ya que de este análisis se derivará de forma directa las oportunidades que existen de implementar y extender las actividades del laboratorio para la formación de nuevos profesionales en este ámbito o para el reciclaje formativo de profesionales en este u otros sectores afines. En la Tabla 16 y en la Tabla 17 se muestra el análisis detallado sobre el sector. Es de especial relevancia el papel que las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMEs) han de jugar en la implantación de este tipo de servicios. Estas empresas dominan parte del tejido empresarial español y tienen un alcance alto a clientes con un elevado potencial de ahorro energético. Pese a ventajas como la citada existen inconvenientes ligados a la propia naturaleza e infraestructura de las PYMEs. La falta de formación en estas actividades y en materia de eficiencia energética es una de las más importantes barreras a superar. Por ello la actividad formativa a PYMEs se perfila como una de las potenciales actividades del laboratorio ya que puede suponer un revulsivo para el sector y para la mejora energética en el país.

Tabla 16. Fortalezas y Debilidades del sector de los SSEE

FORTALEZAS Y DEBILIDADES
FORTALEZAS
Es un mercado nuevo con gran potencial de crecimiento y de creación de nuevos empleos
El apoyo de la Administración, como origen de incentivos económicos y entidad ejemplarizante en la aplicación del ahorro y la eficiencia
Es una herramienta clave para conseguir los objetivos europeos en energía, permitiendo el desarrollo de nuevos modelos de negocio
Experiencia: a medida que se ejecutan proyectos, la plantilla va adquiriendo experiencia que de otra forma no es posible disponer, puesto que no existe ningún tipo de formación reglada al respecto
Además de crear empleo en áreas como la instalación de equipos de iluminación, termostatos inteligentes, aislamientos, nuevas calderas y aparatos inteligentes de aire acondicionado, impulsaría la propiedad intelectual y know how en los ámbitos de técnicas y procesos operativos y nuevos materiales de construcción, pudiendo los SSEE participar en desarrollos y/o patentes
DEBILIDADES
En muchos casos el cliente no percibe el retorno económico derivado de la implantación de productos y servicios energéticos
Existe una excesiva dispersión en las tipologías de contratos de servicios energéticos, no permitiendo que el mercado los perciba como un producto consolidado
Existe una gran complejidad contractual en algunos tipos de servicios energéticos que no permite el acceso de nuevos entrantes al sector
Existe una falta de formación en los profesionales del sector que propicia que en algunos casos los trabajos no tengan la calidad adecuada
Tamaño empresarial: en el caso de PYMES la reducida dimensión de la infraestructura para ofrecer SSEE les impide optar a grandes proyectos
La publicidad es escasa. No son conocidos por el público los beneficios medioambientales de las energías renovables y de las medidas de ahorro y eficiencia energética
La regulación actual del sector de la eficiencia energética ha de desarrollarse

Tabla 17. Oportunidades y Amenazas del sector de los SSEE

OPORTUNIDADES Y AMENAZAS
OPORTUNIDADES
Existe una conciencia ecológica extendida que puede ayudar al crecimiento del sector
España es un país con una gran dependencia energética del exterior: crítico para potenciales clientes de SSEE como el sector agrícola por la pérdida de competitividad
Previsibles subidas de los precios de la energía, lo que puede incrementar el interés hacia los temas relacionados con la eficiencia energética
El desarrollo de una normativa adecuada para potenciar el sector
Incentivos por parte del sector público para la aplicación de medidas de ahorro energético
Programa de ayudas públicas para la mejora de la eficiencia energética
Esfuerzo por parte de la Administración Pública y la empresa privada para dinamizar el sector de la eficiencia energética
AMENAZAS
El usuario final no tiene suficiente información en torno a sus consumos y su potencial ahorro.
Desconfianza del usuario que puede retrasar las oportunidades de ahorro y de desarrollo del sector
Cuestiones culturales o de sensibilización: el consumidor no tiene interiorizado el valor del ahorro energético y en otros casos no tiene la suficiente cultura para detectar comportamientos propicios para el ahorro
Desconocimiento de algunas entidades financieras al respecto de las posibilidades de negocio del sector. Este desconocimiento dificulta la valoración de inversiones en eficiencia energética con rendimientos inciertos a largo plazo, dificultando el acceso a la financiación para desarrollar este tipo de actuaciones, especialmente a los agentes de pequeño tamaño como SSEE
La incertidumbre de los precios energéticos incrementa el riesgo percibido sobre el desarrollo de la contratación de servicios energéticos asociados a ahorros obtenidos
Precios energéticos que no han incorporado algunos costes de suministro (incluidos los ambientales)
Baja elasticidad de la demanda de energía en determinados consumidores
Incertidumbre regulatoria e irreversibilidad de las inversiones. Para incentivar adecuadamente las inversiones que los agentes realicen para mejorar su eficiencia energética resulta fundamental que las decisiones normativas que afectan a la misma se tomen en el contexto de un marco regulatorio riguroso y estable, que elimine cualquier posible incertidumbre

Dentro de este análisis se ha realizado un estudio sobre las áreas prioritarias de actuación en esta materia y qué actividades tendrían un elevado potencial formativo. Un análisis de tipo cuantitativo en el que se asignan valores numéricos a cada actividad permite obtener un resultado orientado a la toma de decisiones. Los resultados se muestran en la Tabla 18 siendo importante destacar que pese a las debilidades y amenazas anteriormente detectadas existe un gran número de áreas con potencial de actividad dentro del esquema de SSEE.

Tabla 18. Posibilidades de actuación de sector SSEE para mejora de la eficiencia energética

	Sector público	Consultoría de simulación energética	Rehabilitación energética de edificios	Consultoría energética para nuevos edificios	Consultoría construcción sostenible	Sector agroalimentario	Cogeneración industrial	Cogeneración no industrial-Residencial	Cogeneración no industrial-terciaria	Sector terciario: oficinas y centros comerciales	Sector oficinas financieras	Sector agrícola	Industria agroalimentaria	Alumbrado público	Sistemas de district heating/cooling
Potencial de ahorro	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena	Regular	Excelente	Excelente	Regular
Prioridad en el PAE 2011-2020	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Regular	Buena	Buena	Buena	Regular	Regular	Excelente	Excelente	Regular
Competencia en el sector	Muy mala	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena	Regular	Excelente	Excelente	Mala
Sencillo alcance comercial	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala	Buena	Buena	Regular	Regular	Regular	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Regular
Riesgo de las inversiones	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Mala	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Excelente	Excelente	Regular
Riesgo político-social	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Regular	Buena	Buena	Buena
Rentabilidad de la inversión	Regular	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Regular	Excelente	Excelente	Buena
Soluciones tecnológicas maduras	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Buena	Regular

Tabla 18. Posibilidades de actuación de sector SSEE para mejora de la eficiencia energética (continuación)

	Sector público	Consultoría de simulación energética	Rehabilitación energética de edificios	Consultoría energética para nuevos edificios	Consultoría construcción sostenible	Sector agroalimentario	Cogeneración industrial	Cogeneración no industrial-Residencial	Cogeneración no industrial-terciaria	Sector terciario: oficinas y centros comerciales	Sector oficinas financieras	Sector agrícola	Industria agroalimentaria	Alumbrado público	Sistemas de district heating/cooling	
Periodos de retorno asumibles	Mala	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena	Regular	Excelente	Excelente	Mala	
RESUMEN	Excelente	1	2	2	2	1	1	1	1	3	1	1	7	7	0	
	Buena	3	5	5	5	6	2	6	6	3	4	1	2	2	2	
	Regular	2	1	1	1	1	5	2	2	2	3	4	7	0	0	5
	Mala	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Muy mala	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3.4.3. Sobrecoste asociado a la inversión inicial en tecnologías eficientes

El mayor coste actual de algunos productos o servicios eficientes, cabe destacar que en parte es debido a los elevados costes de transacción, que son los que provocan que las inversiones puedan llegar a no ser rentables en algunos casos. Los costes de transacción pueden incluir, de modo genérico, costes de búsqueda de proveedores, búsqueda de información por potenciales clientes sobre la oportunidad del cambio, formación en el uso y mantenimiento del bien, de alcanzar un acuerdo aceptable para las partes, garantías, etc.

La Tabla 19 y la Fig. 13 han sido elaboradas en base a estudios internacionales (Ostertag, 1999) y en ellas se cuantifican los costes directos e indirectos asociados a un ejemplo de implantación de una tecnología eficiente con respecto a los asociados a la tecnología convencional. En relación al coste inicial (inversión) y al coste operativo éstos corresponden a los costes directos. Los costes de transacción, así como otros tipos de costes como los costes de oportunidad o costes derivados de incertidumbres percibidas por el cliente corresponden a los costes indirectos. Este análisis evidencia la

necesidad de realizar una inversión inicial superior que conllevará posteriores ahorros energéticos y por lo tanto económicos. En la actual situación compleja de acceso al crédito se denota totalmente imprescindible la necesidad de contar con apoyos oficiales que ofrezcan soporte económico pero principalmente financiero que permitan afrontar las inversiones iniciales. Se analiza en el siguiente apartado qué actuaciones están previstas dentro del contexto de las administraciones públicas para acelerar este proceso y garantizar el éxito.

Tabla 19. Comparativa de inversiones iniciales para diferentes tecnologías

Costes	Tecnología	
	Tecnología convencional	Tecnología eficiente
Coste inicial	70	90
Coste operativo	70	20
Costes indirectos	20	80

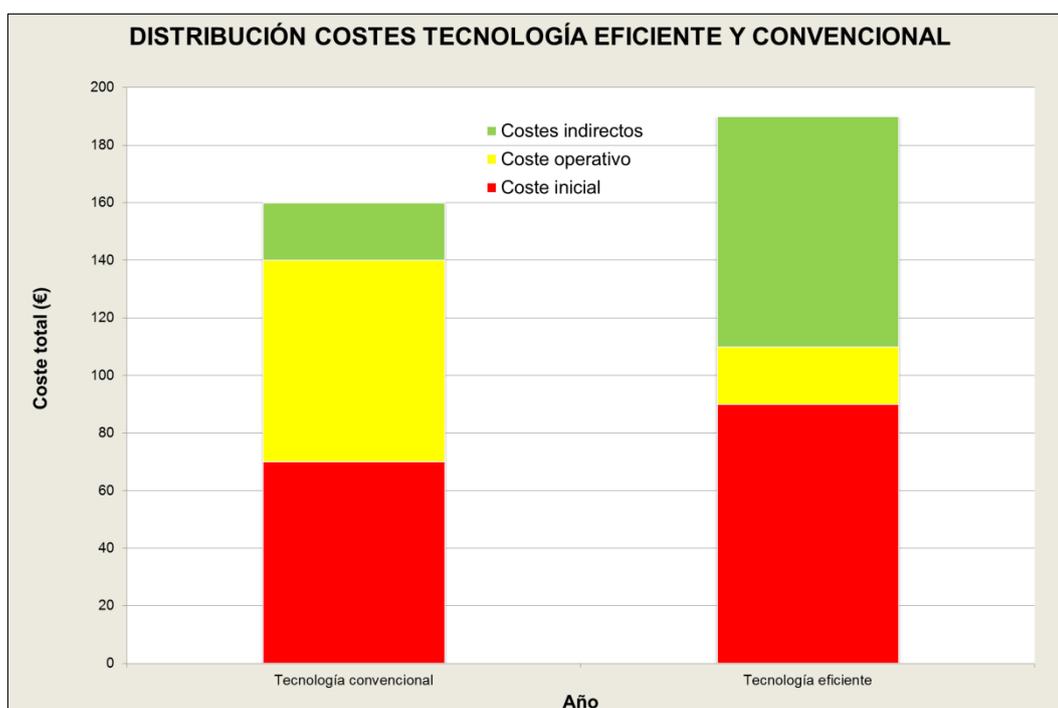


Fig. 13. Comparativa de inversiones iniciales para diferentes tecnologías, gráfico

2.3.5. Dotación económica prevista en materia de eficiencia energética

El Plan de Acción 2011-2020 evalúa el total de los apoyos necesarios para la consecución de los ahorros previstos en 4.995 millones de euros, lo que supone casi un 11% del total de las inversiones cuantificadas, que ascienden a 45.985 millones de euros. En la Tabla 20 se detallan las inversiones previstas para cada uno de los sectores tanto a nivel público como privado.

Tabla 20. Inversiones previstas en el horizonte 2011-2020 para diferentes sectores

Sector	Apoyos públicos (M€)		Inversiones (M€)	
	2011-2020	Promedio por año	2011-2020	Promedio por año
Industria	750	75	8.060	806
Transporte	996	100	3.104	310
Edificación y equipamiento	2.883	288	27.322	2.732
Servicios públicos	143	14	809	81
Agricultura y pesca	77	8	596	60
Transformación de la energía	22	2	5.970	597
Comunicación	124	12	124	12
Total	4.995	499	45.985	4.598

Se detalla en la Tabla 21 y en la Fig. 1 cómo se distribuirán los fondos a aplicar para cada uno de los sectores donde se realizarán actuaciones para la mejora de la eficiencia energética. Estas inversiones actuarán como vehiculares de la necesidad de formación, por lo que se consideran de vital importancia a la hora de definir el alcance y las estrategias del laboratorio. Destaca cómo en línea con el análisis realizado en apartados anteriores, el sector de la edificación y equipamiento aún que posee un elevado potencial de ahorro energético y una gran disponibilidad de fondos a aplicar, conllevando aproximadamente un 59,4% del total. El siguiente sector en inversión es el industrial, con un 17,5%.

Tabla 21. Distribución de fondos por sectores

Distribución de fondos (%)	
Sector	%
Industria	17,5
Transporte	6,7
Edificación y equipamiento	59,4
Servicios públicos	1,8
Agricultura y pesca	1,3
Transformación de la energía	13,0
Comunicación	0,3

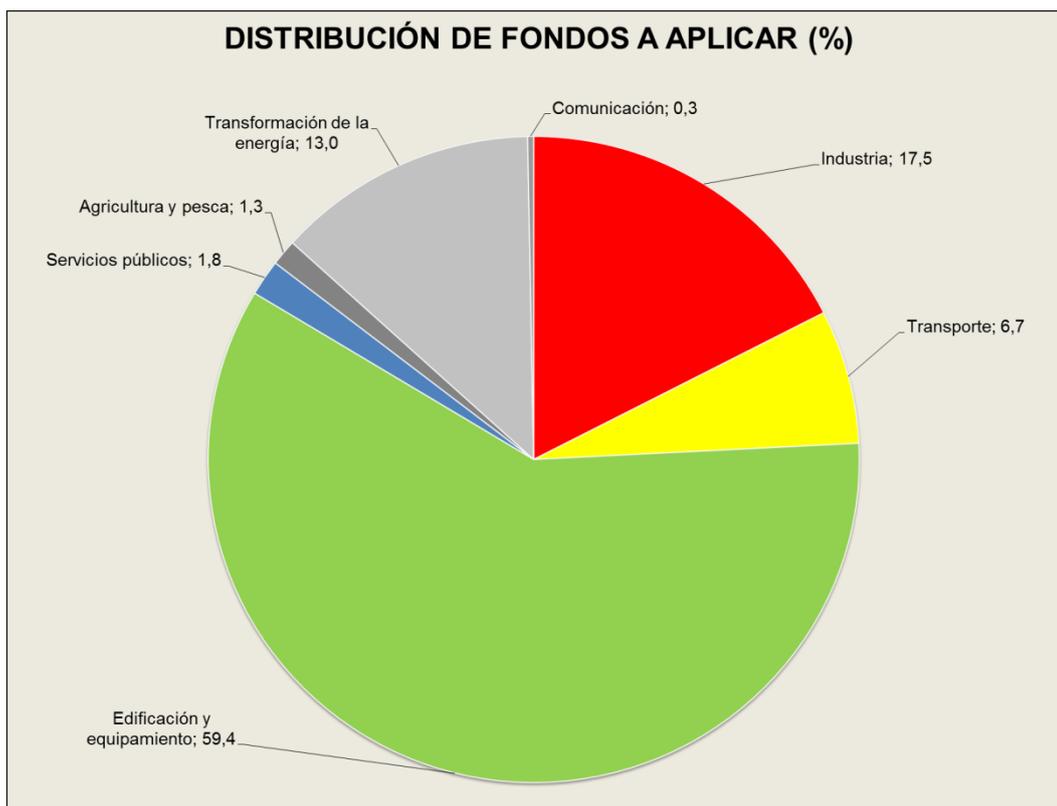


Fig. 14. Distribución de fondos por sectores, gráfica.

En la Tabla 22 y en la Fig. 15 se muestra qué porcentaje de distribución de fondos públicos se prevé aplicar a cada sector observándose un comportamiento similar al anterior pero destacando en este caso la importancia del sector transporte. Estas observaciones permiten concluir que los sectores de la edificación y de industria van a recibir las inversiones con mayor cuantía y por lo tanto, unido al elevado potencial de ahorro energético que se presenta, sufrirán un importante desarrollo en los próximos años y requerirán de importantes actividades formativas.

Tabla 22. Distribución de fondos públicos en diferentes sectores en el horizonte 2011-2020

Distribución de fondos del sector público (%)	
Sector	%
Industria	15,0
Transporte	19,9
Edificación y equipamiento	57,7
Servicios públicos	2,9
Agricultura y pesca	1,5
Transformación de la energía	0,4
Comunicación	2,5

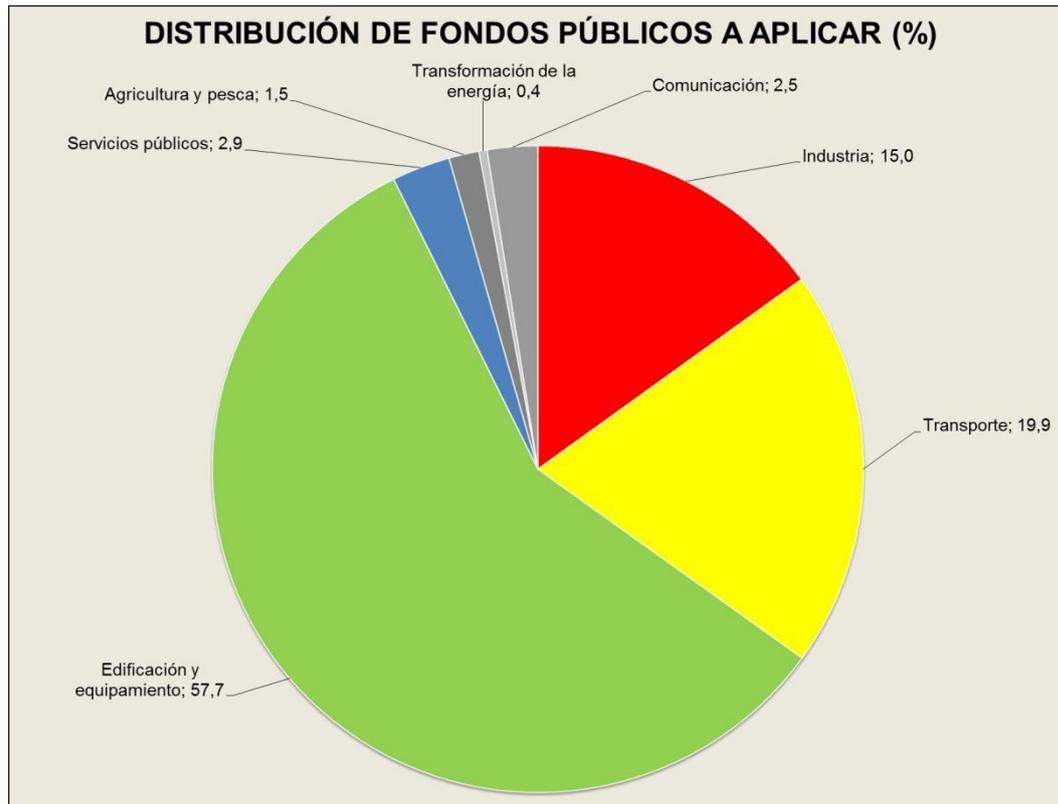


Fig. 15. Distribución de fondos públicos en diferentes sectores en el horizonte 2011-2020, gráfico

2.4. CONCLUSIONES Y NECESIDAD DE DESARROLLOS

A tenor del análisis del entorno, de las condiciones de contorno y de los condicionantes económicos, políticos, normativos y laborales, se detecta una importante y creciente necesidad de formación de profesionales en materia de eficiencia energética.

Esta formación no ha de pensarse como un ente formativo separativo o autónomo sino que la tendencia actual es la de requerir profesionales que, dentro de sus ámbitos de actividad, puedan tener habilidades para gestionar de forma eficiente la energía. Este planteamiento permite por lo tanto desarrollar también procesos y procedimientos formativos destinados específicamente a profesionales del sector si bien esto se puede considerar como un caso específico de la formación general en materia de eficiencia energética.

En la Tabla 23 se muestran los sectores objeto de las diferentes actuaciones en materia de la mejora de la eficiencia energética y se evalúa, para cada uno de ellos, las necesidades de formación en eficiencia energética.

Tabla 23. Necesidades de formación según sector

Sector	Necesidades de formación	
	Profesionales en activo con formación específica en Eficiencia Energética	Área docente que requiere formación en Eficiencia Energética
Industria	Media	Alto
Transporte	Baja	Media
Edificación y equipamiento	Medio	Muy alta
Servicios públicos	Muy baja	Alta
Agricultura y pesca	Muy baja	Alta
Transformación de la energía	Media	Muy Alta

Se detecta una evidente necesidad de formar nuevos profesionales que posean la capacidad de llevar a cabo análisis y estudios energéticos en su sector de actividad, solucionar potenciales problemas aplicando criterios de eficiencia energética, evaluar impactos ambientales debidos al desempeño energético, evaluar financieramente proyectos y aplicar protocolos de mejora continua.

Estas necesidades podrían ser cubiertas mediante sistemas de docencia tradicional si bien esto implicaría un uso de recursos que no está disponible en la mayoría de los casos y que sería prácticamente inviable en el caso de tratar de formar profesionales ya en activo en nuevas materias de eficiencia energética.

En la Tabla 24 se resumen las necesidades de equipamiento para la formación en la materia y los requisitos de espacio y coste asociados.

Tabla 24. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio tradicional

Sector	Medios materiales para la formación tradicional		
	Equipamiento específico	Coste	Viabilidad
Industria	Sistemas de motores eléctricos	Medio	Media
	Equipos de climatización	Medio	Baja
	Sistemas de bombeo	Medio	Muy baja
	Redes de distribución de fluidos	Alto	Muy baja
	Redes de distribución eléctrica baja tensión	Bajo	Media
	Redes de distribución eléctrica de media tensión	Medio	Baja
	Sistemas de calidad de la energía eléctrica	Medio	Media
	Sistemas de iluminación industrial	Bajo	Alta
	Sistemas de aire comprimido	Medio	Media
	Cogeneración	Alto	Muy baja
	Poligeneración	Muy alto	Muy baja
	Generación térmica	Medio	Baja
	Recuperación de calor	Medio	Muy baja
	Distribución de vapor	Medio	Baja
Edificación y equipamiento	Generación térmica	Bajo	Media
	Generación de frío	Medio	Media
	Sistemas de cogeneración	Alto	Muy baja
	Optimización energética	Medio	Muy baja
	Envolvente térmica optimizada	Alto	Muy baja
	Elementos pasivos	Alto	Muy baja
	Recuperación de calor	Alto	Baja
	Sistemas de sombreado	Medio	Media
	Integración de Energías Renovables	Medio	Baja
	Poligeneración	Alto	Muy baja
	Simulación energética	Bajo	Alta
	Iluminación eficiente	Alto	Media
	Optimización en el uso	Bajo	Muy baja

Tabla 24. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio tradicional (continuación)

Sector	Medios materiales para la formación tradicional		
	Equipamiento específico	Coste	Viabilidad
Servicios públicos	Alumbrado público eficiente	Bajo	Media
	Distribución eléctrica eficiente	Bajo	Muy baja
	Sistemas de gestión energética	Medio	Media
	Optimización uso edificios públicos	Bajo	Muy baja
	Sistemas de distribución de agua eficientes	Medio	Muy baja
Agricultura	Regadíos a la demanda	Alto	Baja
	Sistemas de riego por goteo	Alto	Muy baja
	Riego fotovoltaico	Medio	Baja
	Poligeneración energética	Alto	Baja
	Autogeneración	Alto	Baja
Transformación de la energía	Cogeneración	Alto	Muy baja
	Poligeneración	Alto	Baja
	Recuperación de efluentes	Medio	Baja
	Optimización horaria	Bajo	Medio
	Gestión energética	Medio	Alta

Analizando las necesidades para los diferentes sectores susceptibles del desarrollo propuesto en esta tesis se comprueba que existe una necesidad real, creciente y sostenida de desarrollar soluciones orientadas a proporcionar servicios para suplir esa demanda. En la Tabla 24 se ha presentado, para cada sector, un análisis del coste de implantar un sistema de formación basado en elementos clásicos (laboratorio físico) y la viabilidad de poder realizarlo. Existen casos en los que con un coste muy elevado se puede realizar formación de forma viable y sencilla y otros que, pese al bajo coste, no son viables a nivel de laboratorio. Este binomio de coste y viabilidad es óptimo en casi ningún caso, por lo que un laboratorio de formación remoto se presenta como una oportunidad que puede representar un importante ahorro económico y de medios e incluso puede ser la única forma de hacer viable la formación en esa materia. Determinados sectores y ámbitos no pueden ser reproducidos de forma fiel en un laboratorio físico, ya sea por cuestiones de espacio, de seguridad, de coste o por propia imposibilidad debido a la tipología de la instalación, por ejemplo en el caso de

sistemas de iluminación exterior distribuidos, redes eléctricas, sistemas de distribución eléctrica etc. Ante estos retos la realización de experimentos en un laboratorio remoto clásico tampoco es la solución. Un laboratorio remoto convencional aprovecha la posibilidad que ofrecen las TICs para hacer el experimento visible, utilizable y reproducible por muchos usuarios que además pueden estar de forma presencial en la ubicación física del laboratorio o a distancia. El laboratorio tiene que seguir existiendo. Esta propia existencia de los sistemas físicos de ensayo implica los mismos problemas que se han enumerado anteriormente asociados al coste, espacio, seguridad, disponibilidad y posibilidad de construcción. Sin duda los laboratorios remotos pueden hacer el sistema educativo mucho más dinámico y permiten aprovechar recursos situados a distancia, compartirlos, optimizarlos y gestionarlos de forma conjunta pero no da solución al problema.

En el siguiente capítulo se analizarán todos los desarrollos que se vienen realizando en materia de laboratorios remotos, muchos de ellos contando con una tecnología punta y con un grado de complejidad creciente pero siguiendo la filosofía expuesta.

La posibilidad de virtualizar el laboratorio es otra opción que se centra en el modelado de los principios físicos mediante diferentes tecnologías que pueden reproducir el fenómeno con mayor o menor aproximación a la realidad. Dicho sistema permite reproducir, dentro de las limitaciones tecnológicas y del desarrollo actual de la técnica, prácticamente cualquier sistema energético. Pese a esta teórica posibilidad ilimitada en realidad no es posible ni viable generar modelos que reproduzcan de forma fiel cualquier tipo de fenómeno real. Además la posibilidad técnica no implica la viabilidad ya que se deben tener en cuenta otros parámetros que son los habitualmente limitantes, el coste y la necesidad de recursos. Reproducir cualquier sistema energético de forma fiel, escalable y configurable no es, a día de hoy, económicamente viable. En el posterior capítulo se analizarán los más importantes desarrollos de los últimos años, comprobándose que estos no cumplen el objetivo que plantea la tesis, dotar al usuario de una herramienta de ensayo y formación basado en instalaciones energéticas reales, con amplia capacidad de modelado, generación de experimentos ilimitada y capacidad docente real. En la Tabla 25 se muestra la matriz de costes y viabilidad para el sistema docente utilizando un concepto tradicional de laboratorio remoto. El pensar en desarrollar un sistema de laboratorio remoto capaz de simular y reproducir de forma eficaz y funcional todos los apartados pretendidos supone unos costes estructurales y una necesidad de recursos que lo hace no viable desde un punto de vista práctico.

Tabla 25. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio remoto

Sector	Medios materiales para un sistema de laboratorio remoto al uso		
	Equipamiento específico	Coste de desarrollo	Viabilidad
Industria	Sistemas de motores eléctricos	Bajo	Media
	Equipos de climatización	Medio	Baja
	Sistemas de bombeo	Medio	Media
	Redes de distribución de fluidos	Alto	Baja
	Redes de distribución eléctrica baja tensión	Alto	Media
	Redes de distribución eléctrica de media tensión	Medio	Media
	Sistemas de calidad de la energía eléctrica	Alto	Alta
	Sistemas de iluminación industrial	Bajo	Baja
	Sistemas de aire comprimido	Medio	Media
	Cogeneración	Alto	Bajo
	Poligeneración	Muy alto	Baja
	Generación térmica	Bajo	Alta
	Recuperación de calor	Bajo	Alta
	Distribución de vapor	Medio	Media
Edificación y equipamiento	Generación térmica	Bajo	Media
	Generación de frío	Bajo	Media
	Sistemas de cogeneración	Medio	Media
	Optimización energética	Alto	Muy baja
	Envolvente térmica optimizada	Alto	Media
	Elementos pasivos	Alto	Media
	Recuperación de calor	Bajo	Baja
	Sistemas de sombreado	Medio	Media
	Integración de Energías Renovables	Medio	Media
	Poligeneración	Alto	Media
	Simulación energética	Medio	Media
	Iluminación eficiente	Medio	Media
	Optimización en el uso	Bajo	Baja

Tabla 25. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio remoto (continuación)

Sector	Medios materiales para un sistema de laboratorio remoto al uso		
	Equipamiento específico	Coste de desarrollo	Viabilidad
Servicios públicos	Alumbrado público eficiente	Medio	Baja
	Distribución eléctrica eficiente	Medio	Media
	Sistemas de gestión energética	Medio	Media
	Optimización uso edificios públicos	Bajo	Baja
	Sistemas de distribución de agua eficientes	Medio	Media
Agricultura	Regadíos a la demanda	Medio	Bajo
	Sistemas de riego por goteo	Medio	Alta
	Riego fotovoltaico	Medio	Alta
	Poligeneración energética	Alto	Alta
	Autogeneración	Alto	Baja
Transformación de la energía	Cogeneración	Medio	Baja
	Poligeneración	Alto	Media
	Recuperación de efluentes	Medio	Media
	Optimización horaria	Medio	Media
	Gestión energética	Medio	Alta

En esta tesis se plantea un sistema de laboratorio en el que la instalación física existe, pero es una instalación real e integrada en la realidad productiva y energética. Esta instalación se encuentra medida y monitoreada y el uso de las nuevas tecnologías de comunicación se utiliza para transferir esa información a los servidores donde se realizarán los experimentos. Por lo tanto el laboratorio se aprovecha de los nuevos desarrollos de generación distribuida, usa sus tecnologías de comunicación de información y se integra en la nueva realidad. Esta integración hace que el número de instalaciones a experimentar sea tan grande como las existentes en la realidad, permite utilizar mediciones de todo tipo de sistemas, es ilimitado en la configuración de experimentos, escalable y totalmente configurable. El fin absoluto es la docencia, la capacitación de nuevos profesionales o el reciclaje de personal existente.

Ante este innovador planteamiento se puede volver a analizar la factibilidad de realizar actividades de formación en eficiencia energética para todos los sectores anteriormente estudiados pero bajo el nuevo esquema y prisma de funcionamiento.

En la Tabla 26 se muestra la viabilidad de realizar acciones formativas utilizando datos de instalaciones existentes y el coste, obteniéndose de este modo una matriz mucho más ventajosa que en el caso primitivo: se ha encontrado una solución al problema. Esta solución se describe y desarrolla a lo largo de los siguientes apartados de esta tesis doctoral.

Tabla 26. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio remoto con toma de datos distribuida

Sector	Medios materiales para un sistema de laboratorio con medida distribuida		
	Equipamiento específico	Coste de inclusión en el sistema de laboratorio	Viabilidad
Industria	Sistemas de motores eléctricos	Bajo	Muy alta
	Equipos de climatización	Bajo	Muy alta
	Sistemas de bombeo	Bajo	Muy alta
	Redes de distribución de fluidos	Bajo	Muy alta
	Redes de distribución eléctrica baja tensión	Medio	Muy alta
	Redes de distribución eléctrica de media tensión	Medio	Muy alta
	Sistemas de calidad de la energía eléctrica	Alto	Alta
	Sistemas de iluminación industrial	Bajo	Muy alta
	Sistemas de aire comprimido	Bajo	Alta
	Cogeneración	Alto	Alta
	Poligeneración	Alto	Alta
	Generación térmica	Bajo	Alta
	Recuperación de calor	Bajo	Alta
	Distribución de vapor	Medio	Muy alta
Edificación y equipamiento	Generación térmica	Bajo	Muy alta
	Generación de frío	Bajo	Muy alta
	Sistemas de cogeneración	Bajo	Media
	Optimización energética	Medio	Muy alta

Tabla 26. Posibilidad de realización de acciones formativas con un laboratorio remoto con toma de datos distribuida (continuación)

Medios materiales para un sistema de laboratorio con medida distribuida			
Sector	Equipamiento específico	Coste de inclusión en el sistema de laboratorio	Viabilidad
	Envolvente térmica optimizada	Medio	Muy alta
	Elementos pasivos	Medio	Media
	Recuperación de calor	Bajo	Muy alta
	Sistemas de sombreamiento	Medio	Muy alta
	Integración de Energías Renovables	Medio	Muy alta
	Poligeneración	Alto	Media
	Simulación energética	Medio	Muy alta
	Iluminación eficiente	Medio	Muy alta
	Optimización en el uso	Bajo	Muy alta
Servicios públicos	Alumbrado público eficiente	Medio	Muy alta
	Distribución eléctrica eficiente	Medio	Media
	Sistemas de gestión energética	Medio	Muy alta
	Optimización uso edificios públicos	Bajo	Muy alta
	Sistemas de distribución de agua eficientes	Medio	Media
Agricultura	Regadíos a la demanda	Medio	Muy alta
	Sistemas de riego por goteo	Medio	Alta
	Riego fotovoltaico	Medio	Alta
	Poligeneración energética	Medio	Alta
	Autogeneración	Medio	Muy alta
Transformación de la energía	Cogeneración	Medio	Alta
	Poligeneración	Medio	Media
	Recuperación de efluentes	Medio	Media
	Optimización horaria	Medio	Muy alta
	Gestión energética	Medio	Muy alta

3. LABORATORIOS REMOTOS. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE Y TENDENCIAS

Los laboratorios remotos se han ido introduciendo de forma paulatina en los últimos años como parte de la formación fundamentalmente en estudios técnicos y más concretamente en ingeniería. Estos laboratorios se integran dentro de un marco de promoción de la formación a distancia y con medios electrónicos, pero presentan otras importantes utilidades y posibilidades tales como su uso para la realización de prácticas y ensayos autónomos por parte de los estudiantes sin necesidad de contar con presencia física de los docentes y reduciendo los costes en equipamiento así como minimizando los posibles riesgos asociados a los experimentos.

El uso de los laboratorios remotos es creciente en los últimos años y dado el objetivo de esta tesis, proponer un nuevo modelo de laboratorio remoto utilizando sistemas de medida distribuida, es fundamental analizar y recopilar el estado del arte en la materia par poder, de este modo, tener referencias sobre los desarrollos actuales, las principales fortalezas y debilidades y las áreas de desarrollo. Se analiza en este capítulo cuál es el estado del arte en el desarrollo e implantación de laboratorios remotos, se analizan las características de los mismos, sus ventajas e inconvenientes y finalmente se valora si el desarrollo previsto en esta tesis supone una novedad para la ciencia y en qué medida lo es.

3.1. LOS LABORATORIOS EN LA ENSEÑANZA

Los laboratorios y la realización de test y ensayos forman parte de la enseñanza y son fundamentales para los estudios de prácticamente todos los estudios científicos, tecnológicos, económicos y de ingeniería. Los laboratorios presenciales, donde existen equipos de ensayo sobre los que al operario actúa, son los más utilizados a día de hoy y lo han sido desde el comienzo de las actividades de formación en estos campos. Su uso no se limita exclusivamente a la docencia sino que forma parte habitual de actividades de enseñanza a profesionales y a expertos. En estos laboratorios el estudiante puede experimentar fenómenos físicos mediante equipos reales relacionados con la materia de estudio, lo que aporta un eminente carácter práctico, ayuda a asimilar los conceptos y disminuye el riesgo de asimilación de conceptos erróneos. A pesar de las ventajas asociadas al manejo de instalaciones y equipos los costes asociados son elevados para mantener la propia infraestructura y el personal

asociado a su operación y mantenimiento. Estas necesidades también existen en cuanto a superficie disponible, requisitos técnicos de las salas y supervisión.

A medida que aumenta la complejidad de los estudios o la multidisciplinaridad también lo hacen los requisitos de coste, espacio y equipamientos asociados a la docencia. Esta situación es habitual por ejemplo en estudios de ingeniería donde existen y confluyen multitud de asignaturas que requieren de prácticas y ensayos de laboratorio, cada una de ellas con sus peculiaridades y requisitos específicos. Las necesidades y requisitos de calidad obligan a contar con un elevado número de laboratorios y esto eleva los costes y los requerimientos de espacio.

Ante esta situación y necesidades surge la posibilidad de plantear el uso de laboratorios que simulen o emulen los principios físicos a ensayar y permitan acometer la formación con iguales garantías de calidad y de obtención de resultados satisfactorios pero reduciendo el coste, los riesgos y medios y posibilitando además la operación y realización de ensayos de forma remota y por parte de diferentes usuarios que pueden conectarse de forma simultánea. A medida que aumenta la velocidad y prestaciones de los sistemas de comunicaciones esto es en mayor medida posible y las limitaciones disminuyen.

Además de estos aspectos el uso de estas tecnologías favorece la integración de herramientas docentes que mejoran la capacidad de aprendizaje, permite el uso de plataformas en diferentes idiomas, adaptar los experimentos a todos los niveles educativos y reducir los riesgos de daños a los usuarios.

Otro aspecto que representa una evidente ventaja es que los laboratorios de este tipo presentan una gran flexibilidad y pueden ser adecuados y actualizados según avanza el estado de la técnica.

En un laboratorio real la aparición de nuevas tecnologías y equipos no puede ser reproducida de forma directa e inmediata en el propio laboratorio ya que esto supone un elevado coste e irremisiblemente conllevaría la sustitución de los equipos por unos más modernos. En un sistema remoto basado en principios virtuales la actualización de tecnologías y métodos de enseñanza sólo supone un esfuerzo de desarrollo pero no hay asociado ningún coste material más que el del propio mantenimiento de la infraestructura.

Existen varios libros que hablan de forma detallada de las diferentes tecnologías y tipologías de laboratorios remotos y más concretamente de los basados en protocolos

web, no ofreciendo información relevante y actualizada sobre otros desarrollos (Gomes et al., 2007), (Tzafestas, 2009), (Fjeldly and Shur, 2003). En diferentes artículos a los que se hace mención más adelante se analizan las características y prestaciones de laboratorios remotos en particular y para un área docente específica. Se analiza en este apartado las tendencias en el desarrollo de este tipo de sistemas, las características de los mismos, su potencial y se estudian casos concretos de desarrollos que pueden ser de interés.

El concepto de laboratorios remotos basados en protocolos web se remonta al comienzo de Internet en la década de los 70s y el posterior desarrollo del World Wide Web (WWW) y la extensión del uso y la reducción del coste de los ordenadores personales. Existieron en este ámbito esfuerzos de desarrollo conjunto entre varias instituciones de sistemas de laboratorios remotos y en la actualidad existen más de 100 iniciativas en este ámbito (Gomes et al., 2007), (Tzafestas, 2009).

Si se analizan de forma específica las disciplinas de tipo tecnológico y científico se demuestra que los campos de mayor uso de laboratorios remotos son el campo de la automática, la electrónica y la electricidad, existiendo algún desarrollo puntual para el área de ingeniería mecánica. Por lo tanto no se aprecian desarrollos específicos en el área de la eficiencia energética y mucho menos con una estructura de adquisición de datos distribuida como la propuesta en este caso (Gravier et al., 2008).

La infraestructura de red y el protocolo de transmisión de datos utilizado es prácticamente único y el mismo en todos los casos y se limita a un servicio de conexión cliente-servidor donde el cliente utiliza una interfaz de acceso al laboratorio remoto y el servidor aloja los datos y los procesos de la simulación y de los experimentos.

3.2. LOS EXPERIMENTOS EN PLATAFORMAS REMOTAS

El desarrollo de un laboratorio remoto requiere previamente de un análisis detallado de los términos a los que hacen referencia estos sistemas y que habitualmente son utilizados de forma confusa, llevando por lo tanto a error. Existen multitud de términos que aparentemente tienen significados parecidos pero existen importantes diferencias entre unas y otras tecnologías y formas de acceso a la información y a los experimentos a realizar. Términos habitualmente utilizados y referenciados en la bibliografía son:

- e-laboratorio.

- laboratorio-web.
- laboratorio-virtual.
- laboratorio-online.
- laboratorio-distribuido.

De forma incorrecta y equívoca estos términos se utilizan habitualmente de forma intercambiable y como sinónimos, siendo esto un uso incorrecto. Para establecer una clasificación unívoca y universalmente válida para cualquier laboratorio de este tipo se utiliza en esta tesis una clasificación basada en tres criterios que hacen imposible aplicar una misma clasificación a sistemas diferenciados. Se clasificarán los laboratorios según:

- Tipo de interacción de los usuarios con el experimento.
- Tipo de experimento en cuanto a su naturaleza.
- Tipo de localización del usuario y del experimento físico (si existe).

El tipo de interacción de los usuarios con el experimento es un aspecto que determina en gran medida las necesidades de desarrollo, la interfaz y las características del laboratorio. Este primer aspecto, el de la interacción, es susceptible de ser además dividido en dos tipos diferentes de usuario del laboratorio:

A. Control directo por el usuario

En el caso en el que el usuario controla directamente el proceso de experimentación utilizando para ello los dispositivos físicos; este es el caso de un laboratorio tradicional.

B. Control a través de una interfaz virtual o sistemas de realidad virtual

En este caso el control se realiza a través de una interfaz que no son los propios dispositivos físicos de experimentación.

A menudo los dos criterios se pueden combinar dando lugar a una clasificación de cuatro tipos de experimento, Fig. 16.

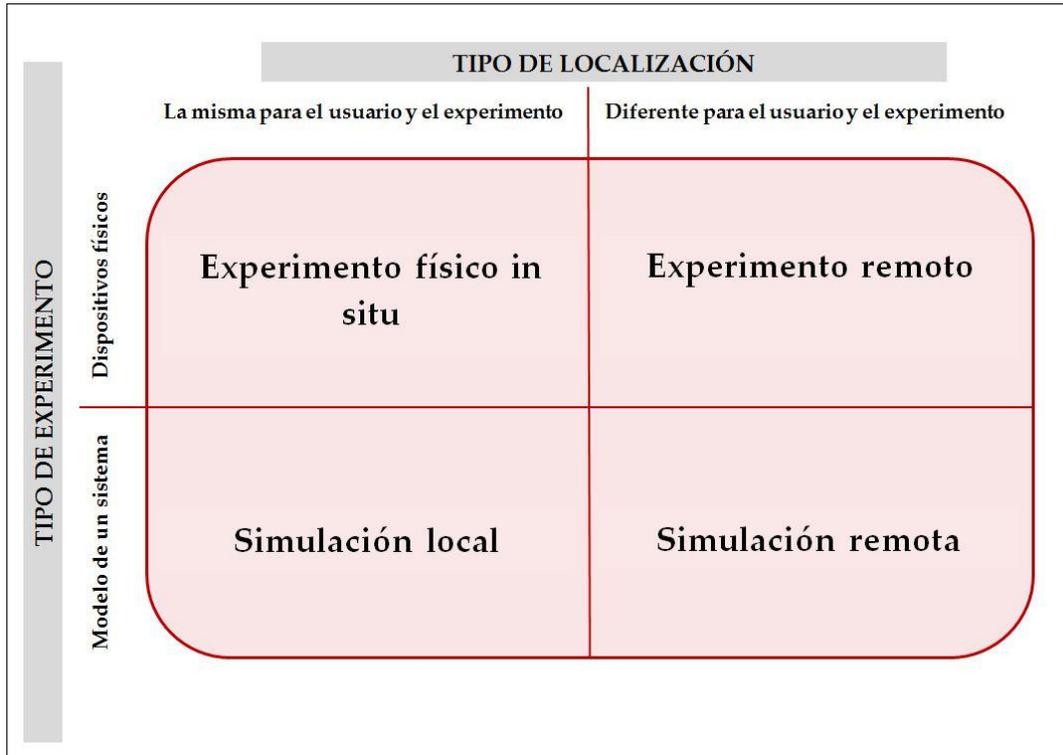


Fig. 16. Tipo de experimentación en función de la localización y el tipo de experimento

3.2.1. Tipos de experimentos remotos

A partir de esta clasificación y según lo mostrado en la Fig. 16 es posible establecer que dos tipos de experimentos pueden considerarse asociados a la naturaleza de la experimentación en función de si utilizan dispositivos físicos para los sistemas y el equipamiento, o de si utilizan modelos para simular los sistemas y el equipamiento. En cuanto a la localización de los usuarios y realizadores de los experimentos se pueden considerar dos situaciones diferenciadas; una primera en la que el usuario se encuentra en el lugar de realización del experimento y una segunda en la que el usuario no se encuentra en el lugar físico de realización.

El objetivo de esta tesis es abordar laboratorios remotos y por lo tanto el estudiante o usuario no se desplazará a realizar el experimento al lugar donde se encuentran los dispositivos, por lo que se estudian detalladamente los tipos de laboratorio con la característica de que el usuario no se encuentra en el lugar físico de ubicación del dispositivo.

A partir del análisis de estas características y según la clasificación expuesta es posible establecer tres formas de laboratorios a distancia, cada uno con sus

características y peculiaridades. Se analizan estos tres tipos en los siguientes subapartados.

3.2.1.1. Laboratorios virtuales con simulación remota

En el caso de los laboratorios virtuales con simulación remota no existe contacto físico entre la experimentación y los usuarios, lo que tiene importantes implicaciones para el lado de la seguridad y la docencia. Pese a que habitualmente hay campos de experimentación y ensayo que serían interesantes para diferentes usuarios, no es posible realizar actividades formativas en estas materias debido a la peligrosidad y al riesgo asociados a los propios ensayos y tecnologías. En este caso el uso de un sistema virtual y remoto elimina totalmente estos riesgos y hace factible que pueda ser posible la extensión de la formación a todo tipo de usuarios, experimentados o no, profesionales en la materia o no.

En función del tipo de uso previsto y de la transmisión de datos necesaria estos sistemas podrían también establecerse para un uso tipo web o mediante un servidor dedicado. En este caso el laboratorio tendría un servidor donde se simulan los procesos y una serie de terminales que permiten a los usuarios acceder a las experimentaciones.

Los experimentos pueden desarrollarse en presencia de un docente o de modo autónomo por los usuarios y estudiantes, no siendo imprescindible la presencia del docente por motivos de seguridad ni tampoco la realización de la actividad de forma sincronizada ni simultánea. Esto permite un trabajo autónomo por parte de los estudiantes, flexibiliza el horario de utilización y hace posible el uso del laboratorio por personas con diferentes niveles formativos y objetivos.

Este tipo de modelos y de sistemas se utilizan en diferentes casos destacando por ejemplo la Universidad de Maribor (Tzafestas, 2009) y también existen otros muchos desarrollos que han sido referidos en la bibliografía.

El inconveniente de la ausencia de interacción con los dispositivos de ensayo es una menor capacidad docente y de aprendizaje ya que el usuario no tiene contacto con el dispositivo físico, no puede conocer y asimilar sus características funcionales y tampoco puede tomar conciencia de las magnitudes (tamaños, sonoridad, iluminancia...) asociadas (Fang et al., 2008), (Perles et al., 2008), (Martínez and Salcedo., 2008).

Pese a estos inconvenientes el laboratorio de este tipo permite un uso intensivo de la experimentación y una rectificación continua por parte de usuario (Reilly, 2008). En el caso de un estudiante que acceda a un experimento este puede repetir el ensayo tantas veces como estime oportuno, modificar parámetros, alterar consignas de entrada o repetirlo en momentos diferidos en el tiempo si lo requiere así para reforzar lo aprendido y asegurar un adecuado avance en la formación. Estas características son difícilmente realizables en un laboratorio físico. En los laboratorios físicos las experimentaciones se han de llevar a cabo según una programación temporal que puede incluso abordar el horario de apertura al propio laboratorio, depender de la presencia de docentes o encargados y requiere de una supervisión. Todos estos aspectos quedan totalmente superados en un laboratorio de tipo virtual con experimentación virtual.

3.2.1.2. Laboratorios remotos de experimentación física

Los laboratorios remotos de experimentación son referidos de forma habitual como “laboratorios remotos” eliminando de la denominación la característica de físicos, que se da por supuesta.

En este caso el laboratorio constituye una interfaz remota y virtual para el acceso a la experimentación de un fenómeno físico en unos equipos que físicamente existen y que realizan los ensayos programados. El usuario puede mediante esta tecnología actuar como si estuviera físicamente en el laboratorio de ensayo e incluso contar con una interfaz visual que permita ver en tiempo real qué está sucediendo en los laboratorios.

Este tipo de laboratorios fueron los más populares, según las referencias bibliográficas, en los años que van del 2002 al año 2006 (Gravier et al., 2008), momento desde el que han comenzado a sufrir un declive en su utilización y extensión. Existen varios laboratorios que se consideran referentes en este tipo de sistemas. Se han desarrollado posteriormente laboratorios que incluyen como mejoras frente a los desarrollos convencionales un motor de visión en tiempo real y permiten al estudiante visualizar en tiempo real qué está sucediendo en sus experimentos (Gustavsson et al., 2006), (Colton et al., 2004).

Pese a lo complejo de esta infraestructura el sistema posee importantes ventajas también asociadas al trabajo colaborativo. El laboratorio como principio físico puede estar situado en un entorno con características de peligrosidad, ubicación, entorno etc. que lo hacen poco apropiado para la utilización por parte de estudiantes. Mediante

esta técnica es posible prescindir y eliminar estos inconvenientes y hacer posible que diferentes usuarios lo puedan usar sin necesidad de desplazarse a la ubicación física o de tener que adecuar las instalaciones al uso docente. En la propia realización del experimento pueden incluirse presentaciones y demostraciones por parte de docentes en el entorno físico para que los usuarios asistan, de forma remota, a las demostraciones que estos realizan.

El problema e inconveniente principal está ligado a un factor de simultaneidad y ubicuidad de las instalaciones. Pese al uso remoto del laboratorio el máximo número de experimentos simultáneos y estará limitado por la propia existencia de dispositivos físicos, su ubicación y sus sistemas de control (Coito et al., 2005). No es posible de este modo que varios estudiantes puedan realizar de forma simultánea el mismo experimento, repetirlo en caso de que lo deseen, interrumpirlo o reanudarlo a la demanda. Será el propio sistema de control y supervisión el que limitará estos factores e incluirá pautas que garanticen la compatibilidad entre usuarios.

La realización de trabajos colaborativos es posible y con un gran potencial en este tipo de sistemas. En el caso de que sea una tercera parte la que posee un laboratorio o unas instalaciones adecuadas para la formación, ya sea de estudiantes y/o de personal profesional, esta puede ser utilizada para docencia contando con el desarrollo colaborativo de otra parte experta en formación y docencia. En este caso una empresa o entidad privada o un organismo de investigación pueden contar con unos laboratorios o instalaciones con un gran potencial docente pero no tener los recursos o la experiencia para llevar a cabo la programación de las propias actividades formativas, la integración de estrategias de innovación docente y la supervisión de la experimentación. Estos laboratorios permiten que la parte especializada en docencia y pedagogía desarrolle la interfaz de acceso así como la programación docente mientras que la parte correspondiente a la dotación física de los laboratorios e instrumentos colabore aportando sus instalaciones, equipos y configuraciones. Estas actividades se prestan además a la colaboración público privada y favorecen la transferencia de tecnología. Ante este caso y pensando en la posibilidad de formación a profesionales puede ser también el órgano privado quien se beneficie de la utilización de infraestructuras de ensayos existentes en una entidad pública o docente, por ejemplo una universidad, para la formación de su equipo profesional.

3.2.1.3. Laboratorios mixtos o híbridos

Los laboratorios de tipo mixto engloban una combinación de los laboratorios para experimentación física presencial y de los laboratorios de tipo virtual. Teniendo en

cuenta parámetros de eficiencia y eficacia docente este tipo de sistemas son los que permiten obtener mejores resultados en este aspecto. En este caso el usuario cuenta con una doble interfaz de realización de experimentos, una virtual y una física, consistente en el acceso al propio sistema de ensayos.

Con esta metodología existe, a disposición del diseño por parte de los docentes, la posibilidad de realizar y promover una experimentación mixta que englobe dos etapas, una primera en la que se realicen los experimentos y ensayos utilizando la parte virtual y una segunda en la que se realicen dichos ensayos de un modo físico.

Siguiendo esta estrategia se minimizan y prácticamente reducen los riesgos asociados al uso por primera vez de un sistema de ensayos que pueda provocar daños a los usuarios. El estudiante experimenta en el sistema virtual, comprueba y realiza pruebas antes de acceder al entorno físico. De este modo el propio usuario incrementa su aprovechamiento ya que vence, mediante el uso del dispositivo virtual, los miedos y reticencias a acceder al sistema físico real. En muchos estudiantes este sentimiento interno existe, al asociar que puede existir peligro para él mismo en la realización de un experimento físico o que este riesgo puede existir para las propias instalaciones, pudiendo él provocar un daño. Esto dificulta el aprendizaje y limita la capacidad de auto experimentación el estudiante.

En este caso existe también la posibilidad de contar con un ensayo simultáneo real y virtual que permite al estudiante comprobar qué efectos tiene una determinada consigna en el dispositivo físico, compararlo con el sistema virtual o modelarlo previamente para posteriormente acometerlo.

3.2.1.4. Tipos de experimentos

Los tipos de experimentos que un usuario puede realizar en un laboratorio remoto pueden ser fundamentalmente de tres tipos en función de la interacción existente entre el usuario y el propio experimento: indirectos, interactivos y basados en sensores (Lowe et al., 2009).

A. Experimentos indirectos

En este caso el experimento se lleva a cabo de un modo indirecto ya que el usuario sólo puede introducir una variación, consigna u orden en el dispositivo a ensayo y esperar a ver cuál es el resultado obtenido. En este caso no existe ninguna interacción entre el propio dispositivo a experimentar y el usuario cuando se está llevando a cabo el ensayo. Un ejemplo sería la realización de un arranque estrella-triángulo para un

motor en el que el usuario pulsa el dispositivo de accionamiento del contactor estrella-triángulo y este sólo puede observar o medir qué sucede durante el periodo de arranque pero sin poder interactuar en el mismo.

B. Experimento de tipo interactivo

En un experimento interactivo es posible la comunicación directa entre el usuario y el equipo servidor de datos pudiendo el usuario modificar parámetros, consignas o características del experimento durante su desarrollo.

En este caso el usuario puede interactuar en el experimento y observar cómo varían los parámetros a medida que este realiza modificaciones sobre las características programadas inicialmente para el experimento.

C. Experimentos basados en sensores

En este caso el usuario no realiza experimentos propiamente dichos sino que el objetivo del laboratorio es registrar y monitorizar ciertos parámetros que se consideran de interés para ese experimento. Estos parámetros son captados mediante sensores y posteriormente tratados de forma conveniente para poder ser mostrados en la interfaz del laboratorio y facilitar la interpretación por parte del usuario.

En el caso anteriormente mencionado de un ensayo de arranque para un motor un experimento de este tipo sería el consistente en el monitoreo y registro de las potencias, intensidades y otros parámetros eléctricos mediante los correspondientes sensores y el sistema de tratamiento de datos.

3.2.2. Ventajas asociadas a los laboratorios remotos

Al revisar la bibliografía al respecto de esta temática se observa que cada tipología de experimento presenta detractores y personas a favor, no existiendo un criterio unánime sobre la idoneidad de uno u otro tipo y las principales ventajas de cada uno de ellos.

En el caso de las principales ventajas asociadas a la utilización de laboratorios remotos y a la realización de experimentos bajo esta modalidad cabe especial mención que se reducen los costes y el espacio necesario para los laboratorios (en el caso de haber optado por uno físico tradicional), se aumenta la seguridad frente a posibles incidentes, disminuye el riesgo de daños como consecuencia de posibles situaciones

no controladas en los experimentos y se aumenta la flexibilidad de los ensayos para los usuarios.

En un laboratorio remoto los horarios de uso no están limitados ni determinados sino que quedan a merced del propio usuario. Además es posible repetir los experimentos el número de veces que sea necesario u oportuno sin que ello implique costes asociados, disminución de la vida útil de los equipos, riesgos asociados o la necesidad de construcción de un laboratorio de mayores dimensiones.

En el otro lado la principal desventaja es la imposibilidad de que el usuario pueda tener un contacto físico con el propio dispositivo y por lo tanto tenga constancia de sus características dimensionales, físicas, visuales y materiales. Esto puede ser especialmente importante en la formación de futuros profesionales en el ámbito de la realización de tareas manuales donde este aspecto es fundamental. Pese a ese inconveniente hay que destacar que este no será un caso común puesto que la realización de experimentos no forma parte del itinerario curricular de este tipo de profesionales (Ma and Nickerson, 2006).

Tras este análisis se puede concluir que las principales ventajas asociadas al uso de un laboratorio remoto son:

A. Flexibilidad

Los laboratorios remotos pueden ofrecer la misma flexibilidad que un laboratorio físico tradicional, permite adaptar los experimentos a la necesidad de estudiante y todo ello sin tener que ocupar espacio físico adicional u obligar a la modificación de ciertas instalaciones, tal y como sucedería en un laboratorio físico convencional.

B. Horario flexible

A diferencia de en un laboratorio convencional el horario no está limitado por los horarios de apertura y uso de laboratorio sino que este puede ser utilizado a la demanda en cualquier franja horaria que sea adecuada para el usuario. En este caso el usuario puede adaptar sus horarios a sus necesidades mientras que en un laboratorio convencional ha de adaptar sus necesidades a los horarios de apertura y operación.

C. Favorece el trabajo autónomo

El uso de laboratorios remotos permite y favorece el trabajo autónomo por parte del estudiante sin necesidad de tener que contar con un supervisor continuo. El

propio usuario puede definir sus pautas de trabajo o adaptar el uso del laboratorio a sus horarios de trabajo y descanso, con el beneficio para la formación y la generación de destrezas profesionales en la materia.

D. Favorecen el desarrollo de soluciones innovadoras

El uso de laboratorios remotos no implica el tener que acometer un coste para la implementación de un nuevo experimento lo que limita las posibilidades de que no se acometan mejoras o modernización de las actividades por coste asociado al espacio o a la compra de materiales o equipos. En caso de que se produzca un avance científico o técnico en un área del conocimiento de los que forma parte la experimentación esta puede ser adaptada de forma casi inmediata.

E. Mejora de la planificación

La posibilidad de adaptar la realización de experimentos favorece la planificación para el estudiante pero también para el equipo docente. En el caso de laboratorios tradicionales la realización de experimentos se realiza en base a una planificación y cronograma preestablecido y que responderá a una organización del horario y recursos disponibles. Ello provoca que el acople entre enseñanza teórica y la necesidad de realización de prácticas para la mejor asimilación de contenidos no sea el adecuado dado que la flexibilidad es prácticamente nula. Si en cambio se usa un laboratorio de tipo remoto tanto el usuario como el docente pueden adaptar su uso a la planificación efectiva e incluso modificar esta según los requisitos docentes, sin que ello suponga ningún inconveniente o contratiempo.

F. Mejores parámetros económicos

La utilización de medios virtuales reduce la cuota de inversión en equipos de laboratorio tradicional lo que disminuye el coste asociado al uso de una determinada tecnología que quiera ser ensayada en el laboratorio con fines docentes. Además estos costes son totalmente escalables al ser posible ir aumentando el alcance del laboratorio a medida que se requieran nuevos ensayos, características o prestaciones.

G. Capacidad de desarrollo colaborativo y a distancia

Al trabajar bajo un entorno virtual no ligado a la presencia física en un laboratorio físico es posible establecer métodos de trabajo colaborativo entre diferentes organismos docentes, empresas o cualquier otra entidad pública o privada ya que el desarrollo no implica ni costes ni medios asociados al desplazamiento. Esto posibilita

un enriquecimiento constante de las labores realizadas en el laboratorio, disminuye los costes de desarrollo, aumenta las capacidades docentes y minimiza el impacto económico de la distancia geográfica. Estas posibilidades son impensables para un laboratorio tradicional, lo que representa un claro elemento competitivo frente a estos.

H. Uso como sistema de apoyo

La realización de ensayos de laboratorio se plantea como una labor de apoyo y reforzamiento de los conocimientos adquiridos además de como un sistema para la verificación de los resultados teóricos estudiados y propuestos. El dispositivo deberá tener un comportamiento muy similar al modelado en la fase de estudio teórico. En este caso el usuario no tiene una flexibilidad para poder realizar ensayos cuando lo considera oportuno con el objetivo de mejorar sus conocimientos o realizar pruebas o comprobaciones. En cambio un laboratorio remoto permite que el usuario pueda realizar los experimentos cuando considere oportuno, repetirlos a la demanda o resolver dudas sobre el comportamiento práctico cuando este lo desee. Esto conlleva una inmediata mejora en la capacidad formativa de los estudiantes y permite que sea posible plantear un uso real de la experimentación en la planificación docente.

I. Comprobación de ensayos físicos

En el caso de que sigan existiendo laboratorios físicos el uso de un sistema remoto se puede utilizar como refuerzo y apoyo de los ensayos realizados en los dispositivos físicos. El usuario puede repetir parcial o totalmente los ensayos realizados, estudiar el comportamiento, proponer mejoras y extraer conclusiones.

J. Capacidad de integración de personas discapacitadas

El uso de dispositivos virtuales, fundamentalmente un ordenador personal o un terminal similar, permite que estos puedan adaptarse al uso por personas con problemas de discapacidad. Al ser esta la interfaz real entre los ensayos y el usuario se elimina de forma completa la imposibilidad de que de ciertas personas con capacidad puedan acceder a un laboratorio físico y hacerlo además con condiciones de seguridad. El sistema de laboratorio remoto puede integrarse en dispositivos desarrollados específicamente para usuarios discapacitados lo que hace su uso prácticamente ilimitado en este campo.

K. Previene el daño a equipos reales

La realización de ensayos en un laboratorio físico puede llevar a que, bajo consignas de operación inadecuadas, se produzcan daños en los dispositivos físicos del laboratorio. En este caso o condiciones el uso de un laboratorio remoto permite detectar situaciones que dañarían a las personas o a los equipos para de este modo proceder la reducción de los riesgos asociados cuando se realice el ensayo en el dispositivo físico.

L. Integración con sistemas de formación a distancia

Los sistemas de formación a distancia se están revelando, con el uso de las nuevas tecnologías, como una opción formativa con igual o mayor valor añadido que la formación presencial. En el caso de un estudio autónomo la formación a distancia estaba perfectamente resuelta ya que existen medios y recursos para hacer esta accesible y eficiente.

Es en el aspecto de la realización de ensayos prácticos donde surge el paradigma de tener que recurrir a la realización de experimentos y prácticas en un laboratorio físico, habitualmente situado en la sede del instituto docente. Este hecho limita la capacidad de estudio entre diferentes zonas tanto a nivel fronterizo como transfronterizo. El uso de sistemas de laboratorio remoto elimina este problema al no existir el condicionante de la distancia. La integración de estos sistemas supondrá un importante impulso a la formación a distancia de calidad y con iguales características que la presencial (Borza et al., 2004), (Yan et al., 2006).

3.3. EVOLUCIÓN Y DESARROLLOS EN LABORATORIOS REMOTOS

Los laboratorios remotos han sufrido un creciente desarrollo en los últimos años, aspecto este ligado al desarrollo paralelo de las TICs ya que estas herramientas son las que posibilitan en gran parte el uso de estos sistemas remotos. Bajo este desarrollo paralelo han ido surgiendo diferentes tecnologías de laboratorios remotos que abordan, como aspecto fundamental, el uso en modalidad e-learning. Gomes and Bogosyan (Gomes and Bogosyan, 2009) realizan una recopilación de desarrollos de laboratorios para los tres tipos anteriormente analizados y se concluye que no existe un criterio sencillo que permita medir la operatividad y efectividad de un sistema de laboratorio remoto.

Unido a estas evaluaciones bibliográficas existen contribuciones al análisis del uso de los laboratorios remotos, su efectividad y aplicación, en diferentes documentos y

propuestas oficiales, destacando las relacionadas con el Proceso de Boloña para la creación de un Espacio de Educación Superior Europea. Cabe destacar que otra de las mayores conclusiones al efectuar un análisis de los desarrollos hasta la actualidad es que este tipo de tecnologías se están usando de un modo cada vez mayor en la formación en materias científicas y en ingeniería. Existen desarrollos de laboratorios presenciales que cuentan con sistemas de laboratorios virtuales (sistema mixto) para reforzar el aprendizaje y mejorar la capacidad docente del mismo. En este ámbito los laboratorios físicos cuentan cada vez más con sistemas de simulación o de registro de datos (laboratorio virtual de monitorización) de los experimentos a realizar físicamente, lo que permite reforzar el contenido docente. El uso de ordenadores personales como interfaz entre el usuario final y el dispositivo físico presenta un desarrollo creciente y es una de las tipologías características de cualquier laboratorio moderno.

Los sistemas de enseñanza deben de aprovecharse del desarrollo de estas tecnologías de comunicación para mejorar la docencia y la capacidad de experimentación en el ámbito de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) para poder de este modo asegurar una integración de los nuevos desarrollos tecnológicos en el ámbito docente. A pesar de las ventajas de estos sistemas existen casos reportados en los que se comprueba que el modelo físico no reproduce fielmente el fenómeno real por lo que el laboratorio remoto actúa como una etapa intermedia en el proceso de experimentación y aprendizaje.

Es en el ámbito de la ingeniería automática y de control donde existe un importante desarrollo en los últimos años.

3.3.1. Laboratorios remotos y capacidad pedagógica. Experiencias y desarrollos

El fin de un laboratorio remoto ha de ser la docencia y la capacidad de transmisión de conocimientos al usuario final. Los últimos desarrollos de laboratorios remotos reflejados en la bibliografía poseen un importante grado de aproximación entre los fenómenos físicos y las simulaciones pero presentan importantes lagunas en el ámbito de la capacidad pedagógica, son difícilmente adaptables a diferentes usuarios en función de su nivel formativo y complejamente actualizables o personalizables. Pese a esta necesidad de mejora de las capacidades pedagógicas estos laboratorios presentan características muy interesantes que deberán ser utilizadas en futuras propuestas. En sistemas de control y automática las entradas no pueden ser

leídas o interpretadas por humanos sino que son lecturas realizadas por dispositivos y posteriormente tratadas, lo que hace poca intuitiva su interpretación y análisis (Bagnasco et al., 2006). Sin una interfaz y un sistema adecuado de visualización los laboratorios remotos adolecen de poca capacidad docente para estudiante y estos reportan habitualmente que son difíciles de comprender. En el caso de laboratorios interactivos en el que el usuario puede modificar consignas o parámetros la calidad pedagógica mejora y los estudiantes reportan que su capacidad de comprensión del fenómeno físico es mucho mayor (Bagnasco et al, 2009).

Desarrollar un laboratorio remoto con capacidad de interactividad supone un reto tecnológico complejo debido a la necesidad de intervenir en varios campos: comunicación en tiempo real, protocolos de transmisión de datos, bases de datos, lenguajes de programación y el propio modelado del sistema, entre otros (García and Rallo, 2005). Estas barreras dificultan que los desarrollos cuenten con capacidades pedagógicas adecuadas. Presentan un análisis exhaustivo de los diferentes laboratorios remotos desarrollados con fines didácticos y que han tenido en cuenta el aspecto pedagógico como un elemento clave del desarrollo. Todos estos desarrollos poseen modelos de simulación realmente complejos pero no presentan capacidad docente y pedagógica significativa, lo que desvirtúa su aplicación final. El modelo de laboratorio presentado por utiliza una interfaz en la que el usuario puede cambiar las consignas y el modelo utilizando controles ActiveX y trabajando contra un servidor remoto que proporciona los datos a los usuarios conectados. Este sistema posee estas ventajas pero adolece que no se pueden modificar los datos en tiempo real, limitando de este modo su capacidad.

Para mejorar y superar estos problemas asociados a la capacidad de poder modificar los datos en tiempo real han presentado un modelo de laboratorio basado en el software Simulink que permite modificar parámetros en tiempo real. Por motivos de transmisión de datos y seguridad sólo un usuario puede modificarlas mientras el resto puede observar los cambios acontecidos (Ferreira and Cardoso, 2005).

Pese al creciente número de desarrollos en materia de laboratorios remotos se observa una evidente falta de sistemas que se centren en las capacidades docentes y pedagógicas de los mismos y que se centren en este enfoque como el principal que debe abordar el laboratorio. Esta tesis plantea un desarrollo que aún innovación en materia de infraestructura de laboratorios remotos y en el uso de los mismos pero

también centrando como objetivo principal la creación de una herramienta docente y pedagógica, sin este fin se pierde todo lo que implica el propio desarrollo.

3.3.2. Integración de sistemas de laboratorios remotos con otras plataformas

Desde un punto de vista de integración de desarrollos un laboratorio remoto tendrá unas capacidades docentes mucho más amplias si este se integra de forma eficiente en un Sistema de Gestión de la Enseñanza (SGE). Con esta integración se logra que el laboratorio actúe como una parte más de todos los medios empleados para la impartición de formación y para la gestión pedagógica de la docencia. En este entorno existen desarrollos integrados en plataformas de docencia y SGE si bien corresponden a sistemas de simulación sencilla y son vistos como unos metadatos. No existen referencias bibliográficas de otros sistemas que tengan por objeto la integración en sistemas de enseñanza complejos formando parte de ellos como otra de las herramientas y medios para la docencia (Hassan et al., 2008), (Kolmos et al., 2008).

3.3.2.1. Los laboratorios remotos en los nuevos sistemas de docencia

Un laboratorio remoto constituye una innovación docente que es por lo tanto susceptible de formar parte de los desarrollos y requisitos necesarios en los nuevos planes y metodologías docentes orientadas a la adquisición de capacidades reales por parte del alumnado. El paradigma europeo actual en materia de docencia se encuentra, en el ámbito de la docencia superior, en un proceso de transformación completo que ha de llevar al establecimiento de un sistema docente para educación superior común a todos los estados miembros, facilitando la intercambiabilidad de los estudiantes, la movilidad geográfica y la adquisición de competencias prácticas por parte del estudiante. En este tipo de sistemas docentes, similares a los existentes en Estados Unidos, los laboratorios remotos pueden suponer una herramienta que diferenciaría la formación de los tradicionales sistemas físicos, mejoraría la capacidad de asimilación por parte del estudiante y aumentaría su autonomía y su capacidad de autoaprendizaje (Helander and Emami, 2008).

El desarrollo propuesto en esta tesis supone una herramienta innovadora con una gran capacidad de integración en los nuevos planes docentes y se convierte en un método de enseñanza por sí mismo y centrado en un área con una demanda creciente día a día, tanto en el sector docente como profesional en activo: la formación en eficiencia energética.

3.3.3. Componentes de los laboratorios remotos

Se presenta en este apartado los componentes con que cuentan los laboratorios remotos referenciados en la bibliografía así como las diferentes características de cada uno de ellos.

El número de las actuales soluciones de laboratorios a distancia es enorme, sin embargo, no suele asegurar la compatibilidad con otras soluciones. Incluso en pese a esta heterogeneidad es posible identificar un conjunto de componentes típicos de un laboratorio remoto. Algunos de estos componentes puede existir de forma duplicada en un laboratorio remoto (García et al., 2005), (Alves et al., 2007).

1. El experimento en sí.
2. Los dispositivos de instrumentación y equipos que permite el control del experimento, así como poder adquirir resultados de la experimentación. Este equipo podría basarse en equipo estándar o interfaz hechas a medida.
3. Un servidor situado en el laboratorio que asegure el control, supervisión y seguimiento del experimento a través del control de los dispositivos de instrumentación y equipos.
4. Un servidor que sirva como enlace entre los usuarios remotos y el servidor de laboratorio, normalmente a través de Internet. La solución para este servidor varía mucho, variando desde aplicaciones hechas a medida hasta servidores web. En la mayoría de los casos este contiene la presentación de una simple descripción de la experiencia y el material didáctico adicional pero existen complejos sistemas SGE para supervisar y gestionar el manejo de los usuarios y la asignación de tiempos para el uso de los experimentos. En ese sentido, este componente podría ser descompuesto en un conjunto de servidores con funciones específicas como por ejemplo, la realización de la presentación de los materiales relacionados con el propio experimento, la base y los fundamentos teóricos, el sistema de autenticación, la reserva etc. El sistema de acceso puede ser a través de un portal web que actúa como la primera página para los experimentos creados por una determinada institución o por un consorcio colaborativo.
5. Un servidor de vídeo que permite que el usuario remoto obtenga una retroalimentación visual y de audio de la situación de experimento.

Abordando el esquema planteado la funcionalidad también podría incluirse en la parte anteriormente mencionada dedicada al servidor web pero lo habitual es que el servidor de vídeo constituya una plataforma dedicada.

6. Herramientas de colaboración que permite audio, vídeo, comunicaciones y chat entre los usuarios así como acceso a intercambio de información entre ellos.
7. Estaciones de acceso que permite a los usuarios remotos que se conecten a los recursos experimentales. En muchas ocasiones los laboratorios remotos se basan en un sencillo navegador web, mientras que otros casos se tendrán que instalar y utilizar programas específicos.

En la Fig. 17 se muestra de forma gráfica la infraestructura de los laboratorios remotos.



Fig. 17. Componentes en los laboratorios remotos

Un laboratorio remoto convencional cuenta con una infraestructura similar a la indicada en la Fig. 18, contando en este caso representado el laboratorio con todos los componentes anteriormente enumerados.

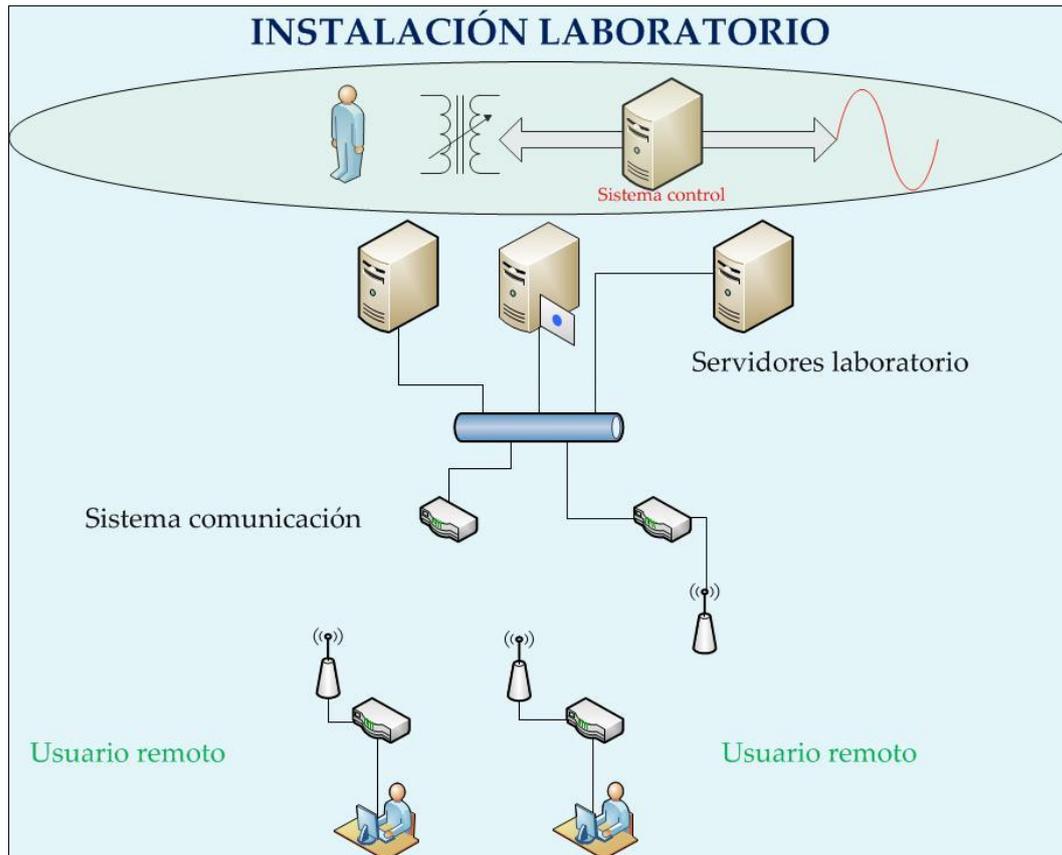


Fig. 18. Distribución y componentes de un laboratorio remoto convencional

3.3.3.1. Protocolos de comunicación en laboratorios remotos

Los laboratorios remotos, dentro de su propia concepción, deben de contar con un sistema de comunicación que permita establecer flujos de información unidireccionales o bidireccionales, en función de las prestaciones del mismo y del tipo de laboratorio.

Considerando un laboratorio remoto simple se pueden utilizar distintas tecnologías para gestionar y asegurar las comunicaciones en los diferentes niveles. Comenzando por la capa de comunicación inferior, la comunicación entre el servidor de laboratorio y el equipo de instrumentación puede variar, incluyendo interfazs de comunicación, como TCP-IP, RS-232, IEEE-488, u optar por otras como sistemas a medida y de tipo OEM. En la capa de comunicaciones de software la conexión entre el experimento y el servidor de laboratorio puede contar con diferentes comunicaciones siendo las más comunes las siguientes (Gomes et al, 2007), (Garcia et al., 2007):

1. Soluciones propietarias, la mayoría de ellas diseñadas para la representación gráfica, tales como LabView, EEV, y MATLAB/Simulink.

2. Basándose en lenguajes de programación de propósito general, como C, C++, Basic, o Python. Se están realizando esfuerzos para desarrollar sistemas que fusionen varios tipos de soluciones que fusionen la arquitectura del instrumento de software virtual y el instrumento virtual. Esto permite a los usuarios definir controladores de instrumentos que utilicen sistemas y lenguajes de programación varios.

El aspecto de la comunicación entre el usuario y el servidor de laboratorio toman como referencia el sistema cliente-servidor como referencia y existen varias tecnologías disponibles. Los diferentes lenguajes se han utilizado son muy variados incluyendo HTML, Java, Virtual Reality Markup Language, C, C++, C# y otros. Todo lo relacionado con la capacidad de accesibilidad son muy importantes especialmente teniendo en cuenta las diferentes de plataforma por parte del cliente y que van desde PCs y estaciones de trabajo a sistemas tipo Tablet, PDA y smarthphones.

3.3.3.2. Topología de los sistemas de laboratorios remotos

Uno de los aspectos destacados y clave que determina las tecnologías que se puede utilizar para implementar un laboratorio remoto está asociado y limitado por el tipo de experimento, que se puede dividir en dos grupos

1. Laboratorios remotos asociados con los experimentos con un coste de configuración elevados y que suponen un tipo de experimento que no puede repetirse de forma múltiple a un bajo coste ya que este se ha de configurar y modificar en cada caso. Por ejemplo este caso se da en experimentos ligados a sistemas de control complejos.
2. Laboratorios remotos asociados con experimentos de bajo costo que pueden ser repetidos de forma múltiple con un bajo impacto a nivel de coste. Este ejemplo es común en experimentación eléctrica, electrónica y de sistemas digitales.

En el primer caso lo habitual es contar con un único usuario de laboratorio en cada instante y por lo tanto es primordial contar con un sistema de gestión y reservas para poder gestionar de forma eficaz y eficiente este aspecto.

Además este sistema de reservas debe de ser capaz de gestionar el tiempo y la duración de los experimentos para controlar el número mínimo de usuarios que tendrán acceso al mismo y la duración máxima permitida. El uso del laboratorio durante este periodo de tiempo puede ser parcialmente supervisado, totalmente

supervisado o sin supervisión. En este último caso el contar con sistemas de ayuda a la docencia permite al usuario poder realizar los experimentos previo acceso a unos contenidos formativos.

En el segundo grupo el problema fundamental es la gestión de la escalabilidad ya que este tiene una importancia fundamental. Esta gestión debe además incluir la posibilidad de uso de grupos de experimentos similares como una posible solución para permitir el uso por un gran número de usuarios durante el mismo período de tiempo. Para esta gestión la utilización de tecnologías Web 2.0 permite una gestión mucho más fácil y facilita la replicación de los experimentos y la integración de experimentos adicionales. Para poder aprovechar de forma ventajosa la redundancia en los experimentos esta puede usarse para detectar oportunidades para mejorar la calidad de servicio y optimizar los sistemas que permiten el uso simultáneo de varios usuarios al mismo tiempo. La tendencia creciente a día de hoy es común la topología de laboratorios a distancia basados en aplicaciones cliente / servidor que se basan y en tecnologías web utilizando el cliente un simple navegador web.

La topología se puede clasificar en dos grupos principales, que se enuncian a continuación (Fayolle et al., 2009):

1. Aplicaciones basadas en sistemas web.
2. Sistemas remotos dedicados.

Los sistemas realizados a medida o dedicados tienen el potencial y la ventaja de usar interfaces de gran alcance y se aprovechan de las características específicas relacionadas con el equipo utilizado en el laboratorio remoto ya que se ha diseñado a medida. Además poseen capacidad plena de integración en la interfaz del usuario final lo que permite capacidades específicas, tales como el uso de complejos gráficos y almacenar datos de registro. Esta solución tiene un grave inconveniente y la ausencia total de flexibilidad y universalidad. En el otro lado las soluciones basadas en web pueden beneficiarse de ser universales y no intrusivas ya que no usan recursos de hardware del usuario final.

Analizando las tecnologías del lado del cliente estas pueden ser clasificadas en dos grupos.

1. Aplicaciones de tipo intrusiva, que deben tener el mismo tipo de privilegios de acceso que el usuario local de la máquina. Este tipo de aplicaciones son las aplicaciones de escritorio dedicado y algún tipo de aplicación web.

2. Aplicaciones de tipo no intrusivo, donde se asegura que no se puede producir ningún daño ni modificación en el sistema local. Dentro de este ámbito existen dos subgrupos, el primero constituido por las aplicaciones tipo plug-in y los que no dependen de ningún tipo de plug-in, por ejemplo sistemas basados en código HTML, java y XML.

Hablando en términos generales, las aplicaciones de tipo intrusivo permiten una mejor interfaz para el usuario pero puede acarrear problemas en la seguridad ya que se deben descargar archivos del servidor y el protocolo de comunicación típicamente utilizado, web, no siempre lo será.

3.4. DESARROLLOS MÁS IMPORTANTES EN LABORATORIOS REMOTOS

Se analiza en este apartado qué desarrollos se han venido realizando en el área de los laboratorios remotos, sus principales características y novedades así como la tipología de estos desarrollos para en un último apartado de este capítulo realizar una comparativa entre lo existente en lo propuesto y exponer de este modo todas las nuevas aportaciones sobre el estado del arte actual que se producirán con el nuevo sistema.

3.4.1. Laboratorios remotos en entornos colaborativos. Programas y oportunidades

Como ya se ha apuntado en apartados anteriores, el número de publicaciones recientes en laboratorios remotos y temas relacionados con laboratorios remotos es grande (Ma and Nickerson, 2006) y está experimentando un continuo crecimiento. Dado que los laboratorios remotos ofrecen una oportunidad de desarrollo directamente ligada al trabajo colaborativo existe un importante número de actividades y proyectos de colaboración que giran en torno a estos desarrollos. Existe un gran número y naturaleza de mecanismos de financiación para poner en marcha acciones de colaboración y existe un importante número de proyectos para asegurar la evolución y la contribución de los laboratorios remotos para mejorar la calidad de la educación. Los principales desarrollos e iniciativas se llevan a cabo en la Unión Europea donde se cuenta con mecanismos de financiación directamente gestionados por diferentes órganos de la Comisión Europea (CE) (Alves et al., 2007). Estos programas incluyen apoyo a iniciativas regionales, iniciativas en el ámbito europeo y participación en proyectos internacionales. Los participantes en estos desarrollos son

fundamentalmente instituciones de educación superior, empresas y organismos de asociación empresarial, involucrando generalmente más de dos o tres países. Ejemplo de programas específicos de este tipo son el programa Sócrates y el programa Leonardo da Vinci, promovidos directamente por la CE y multitud de programas englobados en los Programas Marco (PMs). Dentro de las iniciativas ligadas a PMs existen varios programas para el apoyo a los programas de investigación y líneas para favorecer la cooperación entre Europa y otras partes del mundo, siendo un ejemplo claro el programa ALFA para la cooperación entre las instituciones europeas y de América Latina, el programa, ASI@TIC para cooperación entre las instituciones de Europa y Asia y EDULINK para la cooperación entre Europa y ACP) (Gomes et al, 2007). Por otro lado, es importante mencionar que el modelo es exportable a otras partes del mundo, donde se promueven iniciativas similares (Garcia et al., 2007), (Fayolle et al., 2009). En América del Norte la cooperación entre la universidad, la industria y el gobierno son también muy comunes (Counce et al., 2008). El proyecto iLAB en el MIT es un caso de iniciativa para apoyar la colaboración entre varias instituciones de todo el mundo (incluyendo América del Norte, Europa, Asia y África). Existe pues un importante número de proyectos en fase de desarrollo en este ámbito.

3.4.2. Laboratorios remotos para enseñanza en ingeniería

En este subapartado se analizan los desarrollos más importantes en materia de laboratorios remotos encontrados en la literatura. En las revisiones bibliográficas se suele abordar, para cada laboratorio, una descripción de la tecnología utilizada, la topología del sistema y los fines para los que se realizó el desarrollo.

Otra forma de abordar esta revisión y el análisis de los desarrollos podría ser estudiar cuáles son los avances tecnológicos en laboratorios remotos, por ejemplo. El objetivo de esta revisión del estado del arte y por ende de la tesis doctoral es analizar qué desarrollos existen en materia de laboratorios remotos con fines docentes, sus características, ventajas y aplicaciones no siendo el objetivo final el analizar simplemente sus innovaciones tecnológicas.

3.4.2.1. Laboratorios remotos desarrollados para la docencia en electrónica y microelectrónica

Los campos de la electrónica y de la microelectrónica son unos de los que sufren avances más rápidos y son además tecnologías que se integran y afectan de forma muy notable a todas las demás tecnologías. Este creciente desarrollo y la rapidez con

que se produce también eleva el nivel de educación y formación requerida (Casini et al., 2007). Las prácticas y ensayos con placas base y cableado siguen siendo, pese al desarrollo de la tecnología, parte del proceso de formación (Asumadu et al., 2005) pero el rápido desarrollo de sistemas digitales es el que ha motivado de forma específica la necesidad apremiante de desarrollar actividades formativas para la cualificación en esta materia. Además se requiere un sistema docente que optimice el uso del tiempo, de los recursos y de los medios físicos para la enseñanza, en el caso de un laboratorio convencional el propio equipamiento. Todos estos objetivos se pueden lograr utilizando diversos entornos de laboratorio virtual y es este ámbito formativo donde más se han desarrollado. Existen referencias de varios sistemas de este tipo y que son a días de hoy plenamente funcionales y operativos entre los que merece la pena destacar varios ejemplos. El sistema WinLogiLab es una herramienta docente que sirve para la enseñanza sobre el diseño de circuitos lógicos combinatorios y secuenciales y se compone además de una serie de tutoriales y simuladores sobre este campo que permiten al estudiante reforzar los conceptos teóricos antes de abordar la realización de simulaciones y prácticas que permiten mejorar la asimilación de contenidos.

Existen varios desarrollos sobre esta plataforma destacando los del MIT, Circuit Shop, EasySim, Logisim y DigitalTaller. Todos estos laboratorios virtuales están centrados de forma exclusiva en electrónica pero existe un desarrollo llamado Digital Electronics and Design Suite (Deeds) que integra un sistema de simulación que cubre e integra simulaciones en sistemas combinatoriales, redes lógicas secuenciales, análisis de estados, diseño de microcomputadoras y código ensamblador (Donzellini et al., 2007).

En el ámbito de los laboratorios remotos que permiten el acceso a sistemas electrónicos reales se puede mencionar el sistema NIELVIS desarrollado por el MIT que ofrece un banco de trabajo todo-en-uno para el campo de la electrónica. En la última versión desarrollada las funcionalidades se han ampliado con el fin de permitir a los estudiantes poner a prueba y depurar circuitos digitales y analógicos y se ha incorporado el uso de un multímetro digital conmutable (Soumare et al., 2009). Un reciente laboratorio remoto de la Universidad de Darmstadt ofrece la posibilidad de ejecutar modelos de simulación y probarlos en sistemas de prototipado de circuitos digitales. A diferencia de otros ejemplos de este tipo, este laboratorio no sólo proporciona mediciones o experimentos predefinidos sino también la flexibilidad para permitir a los diseñadores y los estudiantes configurar completamente el laboratorio remoto como un prototipo del sistema que están diseñando. La creación

de prototipos se muestra renderizada de forma completa e interactiva, por lo que su ejecución puede ser controlada y supervisada lo que aporta gran valor añadido en la docencia. El laboratorio se ha utilizado en un importante número de proyectos industriales y educativos relacionados con las comunicaciones inalámbricas, la criptografía, la automatización y el desarrollo multimedia (Indrusiak et al., 2007). Un laboratorio remoto en Hong Kong ofrece a los estudiantes la oportunidad de aprender mediante la observación de los fenómenos de circuitos eléctricos. El usuario utiliza una interfaz creada con software de código abierto, LabVNC, para llevar a cabo experimentos a distancia (Kong et al., 2009). En el campo de los circuitos ópticos la Universidad de Houston ofrece un sistema remoto para desarrollar simulaciones y experimentos físicos para la caracterización de la fuente de luz utilizando un analizador de ancho de banda e instrumentos de análisis para fibra óptica (Gurkan et al., 2008). La Universidad Tecnológica de Varsovia también ofrece un laboratorio remoto que facilita el estudio de defectos físicos CMOS. El equipo se basa en un chip que contiene defectos de fabricación diferentes y proporciona a los estudiantes avanzados la formación en el modelado de los defectos de fabricación, la detección, y el diagnóstico (Pleskacz et al., 2008). El laboratorio National Test Resource Center (CRTC) de Francia brinda apoyo en las pruebas de circuitos integrados a través del uso remoto de equipos de pruebas industriales. El centro se ha establecido en conexión con el Comité National pour la Formation en Microelectronique para dar satisfacción a la creciente demanda por parte de la industria de profesionales en este sector y representa, por lo tanto, un referente en integración docente al servicio de la industria.

Un laboratorio remoto para formación y ensayos en microelectrónica ha sido realizado y desarrollado por la Universidad de Australia del Sur. Este laboratorio permite a los estudiantes probar sus circuitos directamente sobre una oblea de silicio observada bajo un microscopio. La ventaja de este innovador desarrollo es que el sistema es completamente independiente del diseño del circuito y no se requiere ningún precableado (Latorre et al., 2009). Además de otros aspectos del laboratorio destaca el sistema de posicionamiento de alta precisión de las sondas de prueba y que estas pueden ser directamente controladas de forma remota a través de Internet (Mohtar et al., 2008). Dentro del área de la microelectrónica existen algunos otros desarrollos que son referencias en este ámbito destacando WebLab (de Alamo et al., 2002) en el MIT, AIM-Lab (Shen et al., 1999) del Instituto Politécnico Rensselaer, Lab-on-WEB (Fjeldly et al., 2002), Next-Generation Laboratory (Wulff et al., 2002), (Wulff and Ytterdal, 2002) situado en la Norwegian University of Science and Technology y RETWINE (Billaud, 2002) que está implantado en la Universidad de Burdeos (Francia), en la

Universidad Autónoma de Madrid (España) y la Universidad de Ciencias Aplicadas de Münster, Alemania.

3.4.2.2. Sistemas de laboratorios remotos para formación en electrónica de potencia y sistemas de control de motores

La formación en electrónica de potencia requiere de unos amplios conocimientos en una amplia gama de disciplinas, como la física, electricidad, teoría de circuitos, electrónica analógica y digital, así como informática y control automático. Para reforzar la capacidad docente es muy útil incluir en estos sistemas docentes otros equipos que pueden ser, por ejemplo, cargas o sistemas controlados por electrónica de potencia, por ejemplo motores. La electrónica de potencia tiene como fin último el control y operación de sistemas eléctricos, de ahí que, la mayoría de los laboratorios sobre electrónica de potencia, ya sean a distancia o in situ, también implicará el uso de accionamientos eléctricos. El uso de la electrónica de potencia y sus aplicaciones ha provocado que estos temas hayan ido ganando atracción entre los estudiantes e investigadores de hoy en día. Existen diferentes enfoques y algunas universidades han tratado de abordar la educación en el área de la electrónica de potencia a través de los laboratorios virtuales (Chamas and Nokali, 2004), (Hamar et al., 2005), (Spanik et al., 2006). Lunghwa University of Science and Technology cuenta con un laboratorio remoto configurable de electrónica de potencia con un banco de ensayos un sistema de control a distancia y de interacción mediante plataforma Web. Esta plataforma web además cuenta con un apartado de docencia teórica, complementando de forma muy eficiente el uso del laboratorio. El sistema de ensayos en electrónica de potencia es configurable por los estudiantes a través de una interfaz web y se permite la construcción de una amplia variedad de convertidores e inversores de forma remota. Para la conexión y configuración de los dispositivos se utiliza un conmutador de PXI-2529 de National Instruments. El módulo de conmutación se puede utilizar para conectar cualquier entrada a cualquier salida, por lo que el sistema tiene total capacidad para cambiar dinámicamente las rutas de conexión interna sin ninguna intervención manual externa (Wang and Liu, 2008). Otro ejemplo de formación en electrónica de potencia ha sido desarrollado en la Universidad de Alcalá, donde un convertidor multinivel es puesto a disposición del estudiante para su control y supervisión de forma remota en una manera segura. Este laboratorio remoto proporciona acceso a una amplia gama de experimentos de laboratorio, que varían desde sistemas de conexionado y control de red hasta sistemas de control de motores. Los usuarios pueden elegir la estructura de control, los parámetros de la regulación, el tipo de carga y obtener los resultados gráficos de las

mediciones, todo en tiempo real (Rodríguez et al., 2009). El Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y motores, situado en la Universidad Politécnica de Cataluña, ha desarrollado un laboratorio remoto que cuenta fundamentalmente con un PLC para control de motores eléctricos. A diferencia de los otros casos expuestos se centra en la formación en la programación de PLCs (Gomis et al., 2006). Se centra en el control de accionamientos eléctricos y en la programación del PLC. La plataforma se puede utilizar a través de Internet sin la necesidad de un servidor y por lo tanto permite al estudiante trabajar en el mismo entorno que si se tratara de un proceso industrial real. Parte del hardware (PLC e inversor) y los componentes de software (CoDeSys) se utilizan normalmente en aplicaciones industriales reales (Ferrater et al., 2009) lo que aporta formación de alta utilidad para el mundo laboral. Pires et al. (Pires et al., 2008) presentan otro laboratorio basado en la web con el objetivo de poder impartir formación sobre máquinas eléctricas. Una carga mecánica simulada permite probar el comportamiento de una máquina eléctrica en diferentes tipos de carga y evaluar cómo varía el par de carga en función del tiempo o la velocidad. El control a distancia del laboratorio utiliza MATLAB. Turan y col. (Turan et al., 2006) describen un sistema de ensayos en electrónica de potencia y motores en la University of Alaska Fairbanks (UAF). El laboratorio ofrece uso presencial y acceso remoto a convertidores DC-DC e inversores y al control de la magnetización en un motor de corriente continua, a un motor de imanes permanentes y a diversos sistemas de corriente continua de imán permanente, sincrónico de imanes permanentes y otros dispositivos de control y uso habitual en motores.

3.4.2.3. Laboratorios remotos para sistemas de control y automática

Los conceptos de la ingeniería de control son muy teóricos y abstractos y esta característica provoca inconvenientes a nivel docente que sólo pueden resolverse facilitando a los estudiantes llevar estos conceptos teóricos a la práctica mediante diferentes bancos de ensayos y pruebas. Estos sistemas de ensayo y prueba serán más útiles a nivel docente si son similares a los sistemas industriales. Los laboratorios virtuales y concretamente los laboratorios remotos pueden tener un gran potencial de uso para la educación en ingeniería de control, ya sea dentro de la teoría de servosistemas, control de procesos, robótica o automatización. Se analizan ejemplos interesantes y ejemplos prácticos a nivel educativo mediante sistemas basados en tecnología web. En el área de la robótica sólo se engloban dentro de este apartado los sistemas que abordan el control del propio robot ya que para la temática relacionada con la cinemática de robots y los sistemas dinámicos en robótica se analizan en un apartado independiente. Existen desarrollos para la docencia en materia de control

Huba y Simunek (Huba and Simunek, 2007) destacando desarrollos sobre controladores PID debido a su utilización masiva a nivel industrial. En Leva and Donida (Leva and Donida, 2008) se analiza de forma detallada y exhaustiva las dificultades que conlleva la docencia en materia de control y se presenta cómo se han resuelto estas dificultades mediante la integración de materiales de e-learning, docencia de apoyo en Moodle, uso de laboratorios virtuales y las posibilidades de uso de forma remota de plantas accesibles.

Sobre los aspectos educativos de la ingeniería de control y las aplicaciones de los laboratorios remotos existen publicaciones específicas (Hercog et al., 2007). Este laboratorio de control remoto permite acceder a dos plantas principales: una planta de control térmico y una planta de control de velocidad de motores utilizando un sistema de webserver de LabVIEW. Esta solución tecnológica permite acceder al laboratorio remoto de forma sencilla utilizando simplemente un navegador web y una capa especial de comunicaciones diseñada para permitir el acceso remoto a los bucles de control en tiempo real. La gran mayoría de los desarrollos existentes en laboratorios de control con acceso remoto proporcionan a los usuarios el acceso a una gran variedad de experimentos y permite que se puedan realizar cambios y monitorizar los parámetros del sistema. Un desarrollo muy interesante es el de la University of Maribor que cuenta con un sistema de controlador desarrollado a medida y de forma propia y utiliza dos paquetes de software comercial, MATLAB/Simulink y LabView. MATLAB/Simulink se utiliza para diseñar de forma teórica el sistema de control y simularlo mientras que LabVIEW se utiliza para el control y monitorización y para la gestión remota del laboratorio. Se pueden realizar experimentos con controladores en cascada, sistemas Proporcional-Derivativo (PD) y otros parámetros. Las respuestas del sistema se pueden observar y analizar en formato de texto, gráficos o de video. Este laboratorio remoto incluye también un sistema de reserva que permite a los usuarios remotos reservar experimentos con antelación (Hercog et al., 2007).

Dentro de los laboratorios virtuales destaca el caso del laboratorio remoto ITESCE es un sistema de docencia basado en protocolo web y orientado a la realización de diferentes experimentos. Los experimentos de control en tiempo real son manejados por subsistemas de control y un servidor de red maneja la comunicación con los clientes y con los subsistemas de control. Otro ejemplo de laboratorio basado en la web es el de un sistema de simulación del helicóptero 2-DOF que proporciona al usuario cuatro tipos diferentes de tipos de reguladores, de los cuales los usuarios remotos pueden cambiar los parámetros.

Un concepto diferente de laboratorio remoto es el ACT de la University of Siena ya que permite a los estudiantes diseñar su propio controlador o elegirlo entre la lista de controladores disponibles (Wu et al., 2008). El alumno puede usar un controlador predefinido y modificar los parámetros necesarios mediante el entorno MATLAB / Simulink. Tras esta personalización el usuario puede simular el comportamiento en este software y posteriormente subirlo en el servidor de ACT y comprobar el rendimiento real contra el sistema remoto. El laboratorio de ACT proporciona acceso a varios sistemas muy interesantes desde el punto de vista del control, destacando sistemas no lineales tales como la levitación magnética, control de llenado de un depósito, control de un motor de corriente continua y un simulador de helicóptero. El sistema UAF también permite a los usuarios implementar sus propios algoritmos de control así como controladores predefinidos tales como sistemas PID y PD. La conexión entre el sistema remoto y el usuario se realiza mediante un sistema de servidor de datos (Hagreaves, 1997).

Otro sistema de laboratorio que permite a los usuarios implementar sus propios algoritmos de control es el sistema de laboratorios de la University of Glamorgan. Este sistema permite el acceso a realizar experimentos en diferentes laboratorios remotos sobre levitación magnética, motores etc. situados en diferentes lugares del mundo. El laboratorio también permite a los usuarios remotos ejecutar sus propios algoritmos de control en los bancos de pruebas utilizando la librería de control en tiempo real de MATLAB (Temeltas et al., 2006). La interfaz se ha diseñado utilizando Java JSP/Servlet (Hu et al., 2008).

Desde el punto de vista docente y con el interés de motivar a los estudiantes y atraerles hacia el uso de estos sistemas también existen desarrollos centrados en la realización de actividades educativas tipo juego para motivar a los estudiantes en el aprendizaje de tecnologías de control automático. Uno de estos sistemas basados en web es un juego de submarinos sencillo desarrollado en la Universidad de Stuttgart. El juego consiste en el seguimiento de la trayectoria de los submarinos con realimentación del estado y la aplicación de los controladores PID (Munz et al., 2007).

Los sistemas de automatización implican habitualmente el uso y el control de dispositivos y sistemas locales y remotos y están compuestos de muchos actuadores y sensores. Para lograr una adecuada calidad de la educación y en la formación en el área se requiere el uso de sistemas industriales reales y componentes que son a menudo difíciles de adaptar a entornos educativos (Pascale et al., 2007). Dentro del

área de automatismos existe un desarrollo de laboratorio basado en la web que utiliza sistemas emulados para la automatización (Macías and Guridi, 2009).

Un sistema de laboratorio remoto sobre automatización ha sido desarrollado por la University of Reims Champagne-Ardenne y cuenta con capacidad formativa en el área del control de eventos discretos y mediante el uso de sistemas PLC. El sistema de automatización utilizado es PRODUCTIS, un sistema de envasado industrial del ámbito farmacéutico. El sistema cuenta con un sistema de seguridad para evitar problemas entre el uso remoto y presencial.

La Universidad Politécnica de Valencia también ha desarrollado un laboratorio remoto para docencia y soporte a estudiantes del área de control de procesos, automatismos, informática industrial y sistemas empotrados. La arquitectura remota del laboratorio está basada en SimPROCes y el desarrollo realizado no sólo permite la operación de sistemas simulados o prototipos reales sino que también permite el uso de aplicaciones de control de modo remoto. El sistema simPROCes está desarrollado para asegurar un adecuado funcionamiento y operación independientemente del modelo de ordenador, sistemas de adquisición de datos, lenguaje de programación etc. y es un sistema transparente para el programador y fácil de usar (Hassan et al., 2007).

Otro laboratorio remoto sobre automática ha sido desarrollado por la University of Technology of Sydney y ofrece acceso a seis configuraciones diferentes relacionadas con el control automático. La Universidad Politécnica de Cataluña ofrece docencia en automática a través de un curso on line utilizando como base un sistema de fabricación y ha sido desarrollado bajo un acuerdo de colaboración con sensible Schneider Electric. En este curso el alumno puede adquirir competencias en el control y uso de estos sistemas de fabricación utilizando soluciones tipo PLC comercial (Huba and Simunek, 2007).

El INSA de Lyon (Coquard et al., 2007) también ofrece una plataforma tecnológica de formación que sobre sistemas de control industrial y redes de comunicación orientada a la formación colaborativa entre diferentes empresas y organismos.

Dentro del ámbito de la fabricación automatizada existe un ejemplo interesante de laboratorio remoto que es el Sistema de Control Numérico (CNC) de un torno, realizado por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Toluca en México. El sistema cuenta con tres dinamómetros piezoeléctricos, acelerómetros piezoeléctricos y otra serie de sensores para registrar valores de

aceleración y rigidez en tiempo real. A través del uso de un ordenador es posible para enviar un programa de CNC al torno y monitorizar en tiempo real el proceso de fabricación (Monroy et al., 2006).

La Escola Superior de Tecnologia de Setúbal también ofrece un sistema de laboratorio remoto para la educación en automatización de la ingeniería. El laboratorio integra PLCs y osciloscopios en la misma red industrial en combinación con un sistema de supervisión y de adquisición de datos. El sistema es altamente reconfigurable y tiene una interfaz de comunicación PLC/Ethernet que permite la comunicación e integración con otros muchos dispositivos. La integración de los datos de los buses de comunicación en Internet permite que la información de los dispositivos sea intercambian a través de los equipos y los usuarios (Marques et al., 2008).

La Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) de España ha desarrollado un sistema de laboratorio remoto en el ámbito de la teoría e ingeniería de control utilizando un novedoso principio de funcionamiento. Dada la casuística de la docencia en esta universidad es importante el desarrollo de sistemas docentes que posibiliten la formación de forma remota. La UNED desarrolla su actividad formadora en el ámbito de la educación a distancia lo que implica que los estudiantes deben de desplazarse a las instalaciones físicas de la sede donde se encuentran los laboratorios para poder realizar las prácticas pertinentes. Esto desvirtúa en cierto modo la vocación de adaptación al estudiante por parte de este organismo y provoca problemas en los estudiantes. Utilizando un sistema combinado que integra el uso de MATLAB/Simulink y el de una herramienta basada en Java para la creación de simulaciones en ingeniería se ha desarrollado un sistema de laboratorio remoto que permite al usuario realizar configuraciones utilizando MATLAB/Simulink sin necesidad de contar con este software. El software se encuentra instalado en un servidor situado en el laboratorio remoto y el usuario accede vía web a la interfaz de realización de experimentos donde puede configurar el mismo. Los datos son recogidos con una tarjeta de adquisición de datos y posteriormente procesados por el módulo de adquisición de datos de MATLAB.

3.4.2.4. Laboratorios remotos para robótica

Existe un número elevado de laboratorios virtuales y remotos de aplicaciones destinadas para la educación en el ámbito de la robótica. Las plataformas de software y hardware en este tipo de desarrollos utilizan normalmente MATLAB, LabView, C/C++ y Java, y utilizan habitualmente la robótica como un medio para mejorar la

enseñanza sobre sensores y dispositivos de control inteligentes. En el ámbito de los laboratorios virtuales merece la pena destacar los desarrollos específicos sobre robots en (Peek et al., 2005) y (Noguez and Sucar, 2006).

En el ámbito de los sistemas de laboratorio remoto proporcionado acceso a sistemas de robots físicos los desarrollos son mucho menores. Las capacidades de los laboratorios remotos vía web se centran en la prestación de simulaciones de movimientos de robots y un acceso a la visualización del movimiento de un robot tras el envío de unos comandos de movimiento. Un ejemplo de laboratorio remoto de estas características (Tzafestas, 2009) presenta una interfaz basada en Java y cuenta con capacidades tanto de simulación como de operación de un robot. Un laboratorio piloto (Tzafestas et al., 2005) cuenta con un innovador sistema de evaluación comparativa entre los tres sistemas de acceso y uso del laboratorio, presencial, remoto y simulación virtual. Para fines de formación se ha incluido un sistema de docencia sobre el propio manual del robot. Existen otros desarrollos para el control a distancia de robots de este tipo (Marín et al., 2005).

La University of Siena cuenta con un sistema remoto de acceso al control de un robot, este sistema es habitualmente utilizado por los estudiantes de este tipo de materias (Singaraju et al., 2006).

En España la Universidad Jaume-I ofrece acceso a un sistema de manipulación industrial y dos con fin educativo. El sistema de fabricación situado en la universidad también se encuentra integrado en la red de comunicaciones (Marin et al., 2007). La Universidad de Alicante en España también cuenta con una plataforma para el acceso remoto para simulaciones virtuales y control remoto de un robot con una pinza para manipulación (Torres et al., 2006). Otro ejemplo de robot manipulador remoto se encuentra instalado y desarrollado en Cuba (Castellanos et al., 2006) y proporciona formación a los estudiantes en los campos de la robótica y teoría de control avanzado.

La Utah University cuenta con un acceso remoto para el control de un robot móvil (Ramaswamy et al., 2008). En el ámbito de las instalaciones multirobot también hay plataformas con acceso remoto con finalidades educativas y para la mejora de competencias de estudiantes. La University of Paderborn cuenta con una plataforma remota de experimentación para robots individuales y para sistemas multirobot (Tanoto et al., 2005), (Tanoto et al., 2009). Otro laboratorio multirobot accesible de forma remota por los estudiantes para programar los robots está basado en una serie de pruebas (estadio de pruebas) que los robots deben superar. El estudiante puede realizar ensayos y realizar formación on line sobre diferentes materias relacionadas

con la robótica, física, cinemática, electrónica y control, lo que refuerza la potencialidad docente (Fernandez et al., 2007).

3.4.2.5. Laboratorios remotos sobre microprocesadores y sistemas embebidos

Los sistemas electrónicos empotrados son uno de los sistemas electrónicos más habituales en el día a día ya que se encuentran incluidos en multitud de elementos comunes en muchos aspectos de la vida incluyendo electrodomésticos, objetos de ocio, dispositivos de oficina, vehículos etc. El uso tan extendido de estos sistemas y la rápida evolución de estas tecnologías obligan a que se deban generar herramientas y sistemas de formación que permitan a los estudiantes y a los profesionales del ámbito estar al tanto de los últimos desarrollos existentes y el reciclaje en la materia. Para este tipo de sistemas es necesario también trabajar en la creación de una buena base de conocimiento en el área de la lógica, álgebra booleana y lenguajes ensambladores. La Universidade Nova de Lisboa (Gomes, 2005) propone el uso de dispositivos lógicos programables como plataformas de soporte para la experimentación, desde nivel un inicial hasta cursos avanzados, incluyendo el desarrollo de sistemas basados en microprocesadores.

Entre otros ejemplos en el área de microprocesadores merece la pena destacar el desarrollo “lab-in-a-box” (Bahring et al., 2006). Este sistema consta de una caja de metal que necesita sólo una fuente de alimentación y punto de acceso a la red para proporcionar una infraestructura completa para realización de ensayos de laboratorio sobre microprocesadores. El laboratorio se usa en la enseñanza a distancia y por lo tanto, todos los instrumentos y dispositivos son controlados y observados a través de la red.

También hay desarrollos combinados de sistemas virtuales y remotos (Bahring, 2004) para microprocesadores (Persiano et al., 2007), (Rajasekhar et al., 2008), (Datta and Sass, 2007), (El Medany, 2008).

3.4.2.6. Laboratorios remotos en otras áreas

Existen desarrollos de laboratorios remotos en otras disciplinas pero estos son mucho más minoritarios que en el área de la ingeniería eléctrica y electrónica. Esto es debido a que estas áreas, por su propia casuística y por sus contenidos, requieren de la realización de experimentos que faciliten la asimilación de contenidos docentes.

En el área de la mecánica existe un desarrollo en (Jezernik et al., 2008), (Shyr, 2009), (Costas et al, 2008) y también en el área de los sistemas eléctricos de potencia (Fernão et al., 2008) y el análisis de la calidad de la energía (Sumper et al., 2007). Dentro del ámbito de las energías renovables existen desarrollos reportados para la energía solar (Hamar et al., 2007), y la energía eólica (Pedersen, 2008).

Se ha presentado un laboratorio remoto de ingeniería química que engloba el concepto "Tri-Lab" como un sistema de laboratorio que engloba capacidades de enseñanza presencial, remota, y virtual. Este laboratorio cuenta con un banco de ensayos sobre ingeniería química en el que el estudiante puede realizar experimentos de forma presencial ayudando a mejorar la asimilación de los conceptos y favoreciendo la adquisición de conocimientos prácticos sobre la materia objeto de la docencia. Este concepto de laboratorio, ya presentado anteriormente en algún otro ámbito, permite el uso del sistema en un entorno de docencia mixto que engloba un uso presencial para la realización de sesiones prácticas con los alumnos de los cursos objeto de enseñanza en esta área y docencia presencial mediante la doble posibilidad de realizar experimentos remotos y utilizar el sistema de virtualización del laboratorio.

3.5. TENDENCIAS ACTUALES EN LOS LABORATORIOS REMOTOS

Las tendencias de desarrollo en el ámbito de los laboratorios remotos están condicionadas por las nuevas tecnologías de desarrollo y por los desafíos actuales en esta línea. El desarrollo de sistemas de laboratorios remotos debe verse impulsado por las nuevas tecnologías que se vienen desarrollando en los ámbitos de influencia de estos sistemas y que pueden abrir nuevas posibilidades para la implementación de nuevas funcionalidades, garantizando al mismo tiempo la integración adecuada con SGE y portales institucionales. Deben también aprovechar la necesidad de enseñanza específica e integrar de forma eficaz y eficiente las metodologías de docencia y aprendizaje, así como promover actividades de colaboración que promuevan la participación de diferentes instituciones educativas.

Una característica común de la mayoría de los laboratorios remotos existentes, ya sea con fines educativos o industrial, es que ofrecen soluciones independientes, con limitada o ninguna capacidad de cooperar o interactuar con otras plataformas. La mayoría de estas soluciones se desarrollan como desarrollos particulares y especiales o constituyen soluciones ad hoc que dependen de los diferentes tipos de tecnologías,

del sistema de computación, de los lenguajes de programación y de los medios de interfaz humana. A menudo es prácticamente imposible utilizar hardware de un modo heterogéneo ya que son incompatibles y lo mismo acontece con las herramientas de software. En ese sentido, el principal desafío en la actualidad respecto al control remoto de laboratorios es la ausencia total de criterios de estandarización lo que limita e impide la modularidad, la portabilidad y escalabilidad de las soluciones, así como la interoperabilidad entre las distintas soluciones y desarrollos.

Desde este punto de vista, las contribuciones futuras en el área de las arquitecturas deberían estar orientadas a servicios adecuados e integrar marcos abiertos. Estos son aspectos que se podrían considerar como aspectos clave para superar las limitaciones de los desarrollos actuales.

La revisión de la literatura sobre laboratorios remotos permite comprobar que existe un número elevado de publicaciones en el área, con artículos orientados a las tecnologías utilizadas, los sistemas de control, la integración con otras tecnologías y los avances tecnológicos pero con muy poca incidencia en los aspectos docentes y en el análisis de las necesidades reales de formación en la sociedad.

A pesar de las experiencias exitosas de varios laboratorios remotos, muchos de ellos realizados como resultado de la cooperación internacional, queda como reto asegurar los beneficios reales para la educación y la investigación. Deben además establecerse métodos que permitan valorar el éxito de un laboratorio remoto y comparar sus características frente a un sistema de laboratorio convencional. Por lo tanto, es esencial integrar estos sistemas de evaluación para cuantificar los beneficios de usar laboratorios remotos dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje tanto a nivel de formación universitaria o profesional como para el caso de formación a personal en activo. Una integración efectiva de los laboratorios remotos con SGE es un aspecto clave para mejorar el impacto de estos desarrollos dentro del proceso educativo. La accesibilidad es también un aspecto importante. Facilitar el acceso a los laboratorios remotos por parte de usuarios en países en desarrollo, donde existe un acceso a la infraestructura de laboratorios presenciales muy limitada, es una de las principales facetas a evaluar. El uso de estas tecnologías permite formar a profesionales de estos países en diferentes áreas sin tener que realizar inversiones cuantiosas y con la única limitación de la capacidad de la red en la zona de acceso. Estos desarrollos constituyen una forma de colaboración única y muy valiosa al desarrollo de estas zonas.

Otro de los campos de trabajo de los laboratorios remotos es el del acceso a las personas con necesidades especiales o con discapacidad. El uso de laboratorios de modo presencial por este tipo de usuarios puede ser complejo e incluso imposible. Sin embargo la integración de sistemas de interfaz humana adaptados a personas con discapacidades mediante ordenadores es posible de modo que con esta metodología se logra superar la barrera de la formación a este tipo de colectivos. Existen recomendaciones específicas para promover la creación de sitios web accesibles (Oliver et al., 2007). En el sentido más amplio de la accesibilidad, la disponibilidad de laboratorios remotos con capacidad íntegra de acceso en cualquier hora del año es a día de hoy un reto y un problema. Aunque este aspecto ha sido mencionado en varias publicaciones sobre laboratorios remotos las soluciones finalmente desarrolladas rara vez aseguran o abordan de forma real este aspecto. Debe trabajarse en este sentido para convertir el laboratorio remoto en una herramienta docente al servicio del estudiante y con una capacidad de adaptación a sus necesidades. La mayoría de los ejemplos de la literatura en se limitan a proponer algún tipo de prueba o verificación para comprobar el correcto funcionamiento y emitir las correspondientes alarmas en caso de que se detecte un problema pero no se plantea un análisis adecuado de los recursos o planes funcionales para abordar esta cuestión. Por lo tanto, la accesibilidad, que es una de las razones principales que los laboratorios remotos no suelen considerar, debería ser una de las claves en futuros estudios.

Los esfuerzos para hacer frente a los problemas de accesibilidad también tienen una fuerte impacto en los procesos de desarrollo del propio laboratorio remoto ya que la constante evolución de las tecnologías de desarrollo es aspecto preocupante (Laabidi, 2009).

Otra tendencia importante en los laboratorios remotos está relacionada con los problemas de configuración. Claramente, la estructura estática de la mayoría de los experimentos en línea limita la configurabilidad de los experimentos. Para mejorar la motivación del usuario final y garantizar unas mejores capacidades docentes el usuario debería contar con la capacidad de configurar algunos parámetros en un experimento predefinido ya que esta dinámica de experimentación forma parte del propio proceso de aprendizaje.

Dado que uno de los objetivos finales de los laboratorios remotos está en el apoyo al aprendizaje de los estudiantes y en la promoción de la capacidad de experimentación, auto-aprendizaje y de toma de decisiones este es un aspecto clave. Actualmente, sólo unos pocos experimentos permiten cambiar el experimento a

realizar en la instalación y los que lo permiten lo hacen en una forma muy limitada. La integración de voz sobre IP y aplicaciones de colaboración con organismos y empresas son otros de los vectores de desarrollo futuros. Estos sistemas de voz y de transmisión de información permiten al usuario experimentar una sensación más próxima a la de un laboratorio presencial.

Finalmente un aspecto importante es el de los sistemas de simulación y la integración con los experimentos sobre dispositivos físicos. Para garantizar unas adecuadas capacidades docentes es necesario acompañar las simulaciones por ordenador con animaciones y grabaciones de vídeo (en línea o sin conexión), de modo que la simulación puede enfocarse como una primera aproximación al experimento y posteriormente el usuario comprobaría la adecuación a la realidad al realizar el experimento. Las animaciones y grabaciones podrían además aumentar la sensación de "realidad" en el uso de laboratorios remotos. El uso creciente de Internet por parte de los jóvenes y las nuevas generaciones representa una oportunidad única para promocionar el uso de este tipo de sistemas de enseñanza entre futuros profesionales. Los laboratorios remotos tienen un gran potencial para actuar como facilitadores de la colaboración entre instituciones, profesores, estudiantes e investigadores de todo el mundo y puede tener importantes contribuciones a la ciencia y la ingeniería en los diferentes niveles, ya que permiten el intercambio de experimentaciones en instalaciones y posibilitan el acceso a instalaciones con las que de otro modo no sería posible contar.

3.6. NECESIDADES DE FORMACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA. PROPUESTA DE LABORATORIO REMOTO

Se ha realizado un detallado y exhaustivo análisis en el ámbito de la eficiencia energética en España y Europa y se verifica que existe una necesidad creciente de mejora y por lo tanto de formación de profesionales en la materia, tanto nuevos como existentes. Esta necesidad es además extrapolable a todo el mundo y supone una necesidad que ha de suplirse.

Por otro lado se ha analizado qué desarrollos actuales existen en laboratorios destinados a eficiencia energética desde un punto de vista remoto o virtual, denotando la ausencia de desarrollos destacables en este ámbito. Ello implica que la conjunción de estos dos condicionantes es la que motiva la necesidad del nuevo sistema propuesto en esta tesis. El objetivo es dotar a este laboratorio de las capacidades de las que carecen los actuales desarrollos logrando de este modo que

tenga las máximas funcionalidades y la mejor capacidad docente posible. Las principales carencias de los sistemas de laboratorio remoto actuales, independientemente de la ausencia real de desarrollos específicos en eficiencia energética, se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Deficiencias en desarrollos de laboratorios remotos. Aplicación a la eficiencia energética

Aspecto
Desarrollo teórico no integrado
Adaptación a cambios en normativa compleja
Poca relación real con tecnologías industriales y comerciales
Integración compleja con Sistemas de Gestión Enseñanza
Pocas posibilidades de configuración
No adaptables a necesidades específicas
Uso habitual de software con coste de licencia
Uso habitual de tecnología de propietario
Sin capacidad para reproducción de instalaciones industriales reales
No pensados para el acceso y la formación a profesionales
No modulares
Sin capacidad de uso simultáneo
Acceso 24 horas 365 días limitado
Necesidad de desarrollo informático especializado
Complejidad técnica de los experimentos no adaptable al usuario
No actualizables

Estas carencias, que podrían ser no críticas en otros ámbitos de formación, son totalmente determinantes en un ámbito de enseñanza sobre eficiencia energética ya que este es un campo centrado en la mejora del uso de la energía y por lo tanto tiene una relación directa con las tecnologías realmente existentes, tanto en el uso final como en el sector de transformación, y debe además ser capaz de proveer capacidad de experimentación y por lo tanto docente a un amplio sector de público.

3.6.1. Necesidades de un laboratorio remoto de eficiencia energética

Para que un laboratorio remoto de eficiencia energética pueda cumplir con los requisitos exigibles para garantizar una adecuada calidad docente y alcanzar los objetivos, debe contar con unas características que se recogen de forma resumida en la Tabla 28.

Tabla 28. Necesidades del laboratorio de eficiencia energética propuesto

Aspecto	Característica
Desarrollo teórico	Capacidad para incluir contenidos formativos sobre teoría de la eficiencia energética
Adaptación normativa	La eficiencia energética sigue amplias regulaciones normativas y el laboratorio debe poderse adaptar a diferentes normativas a los cambios producidos
Relación absoluta con tecnologías industriales y comerciales	Para poder implantar técnicas de eficiencia energética es necesario dotar al estudiante de conocimiento en el área de las instalaciones y equipos comerciales de uso habitual
Sistemas de Gestión Enseñanza	El laboratorio debe poderse integrar en cualquier SGE con total garantía y adaptabilidad
Configurable	Configurabilidad total al tipo de experimento que se desea realizar y a las características específicas de este
Adaptable	El laboratorio ha de ser totalmente adaptable al nivel formativo y los requisitos particulares del estudiante o del colectivo a quien pertenece. No puede estar diseñado en exclusiva para uso en educación secundaria, universitaria o para reciclaje profesional
Coste de licencia elegible	El laboratorio se planteará con una total adaptabilidad al software de usuario lo que conllevará el uso posible de software con o sin licencias de uso
Tecnología de propietario	El laboratorio deberá integrar de forma eficaz tanto tecnologías libres como de propietario
Reproducción de instalaciones reales	El sistema de laboratorio remoto de eficiencia energética debe de tener capacidad real para integrar dentro de los experimentos y de las actividades formativas instalaciones reales, algunas de las cuales no podrían reproducirse en un concepto de laboratorio físico clásico
Acceso a profesionales	El laboratorio debe posibilitar y facilitar el acceso por parte de profesionales para su reciclaje y acceso a nuevos conocimientos
Modular	El laboratorio debe de ser totalmente modular y su uso debe poderse seleccionar en sección del módulo necesario
Capacidad de uso simultáneo	Capacidad de uso simultáneo por parte de más de un usuario
Acceso total	El sistema debe de ser accesible durante 24 horas los 365 días del año salvo causa de fuerza mayor o avería
Sin necesidad de desarrollo informático especializado	El sistema debe poder facilitar el acceso a usuarios que no tengan conocimiento específico en materia de programación y redes.
Complejidad técnica variable	En función del perfil de usuario el laboratorio y los experimentos a desarrollar tendrán una complejidad técnica variable y por lo tanto se podrá adaptar a cualquier nivel docente y a profesionales de diferentes ámbitos y cualificaciones

Tabla 28. Necesidades del laboratorio de eficiencia energética propuesto (continuación)

Aspecto	Característica
Actualizable	Debe poder incorporar sistemas, tecnologías y desarrollos de la técnica en eficiencia energética
Acceso total a usuarios de países en desarrollo	La eficiencia energética es un campo estratégico para los países en vías de desarrollo ya que del uso eficiente de la energía depende una gran parte de sus posibilidades de desarrollo
Acceso integrado a personas discapacitadas	El laboratorio debe poderse integrar en terminales que estén adaptados o directamente desarrollados para el uso por personas discapacitadas
Orientado al trabajo colaborativo	El trabajo colaborativo entre administraciones, universidades, entes locales, empresas privadas y otros organismos es fundamental en el área de la eficiencia energética
Capacidad de realización de diagnósticos energéticos	El laboratorio debe de contar con capacidades para realizar un diagnóstico energético de la instalación estudiada y detectar oportunidades de mejora de la eficiencia energética

El laboratorio de eficiencia energética físico in situ con capacidad de suplir estas necesidades no puede ser construido por limitaciones de espacio y por las propias tecnologías implicadas. Muchas de estas tecnologías, recogidas de forma resumida en la Tabla 29, requieren de una instalación distribuida.

Tabla 29. Instalaciones objeto de estudio de eficiencia energética y características distribuidas

Sector	Instalación	Tipo distribuido
Industria	Sistemas de motores eléctricos	Habitual
	Equipos de climatización	Habitual
	Sistemas de bombeo	Habitual
	Redes de distribución de fluidos	Si
	Redes de distribución eléctrica baja tensión	Habitual
	Redes de distribución eléctrica de media tensión	Si
	Sistemas de calidad de la energía eléctrica	Habitual
	Sistemas de iluminación industrial	Si
	Sistemas de aire comprimido	Si
	Cogeneración	Si
	Poligeneración	Si
	Generación térmica	Habitual
	Recuperación de calor	Habitual
Distribución de vapor	Si	

Tabla 29. Instalaciones objeto de estudio de eficiencia energética y características distribuidas (continuación)

Sector	Instalación	Tipo distribuido
Edificación y equipamiento	Generación térmica	Habitual
	Generación de frío	Habitual
	Sistemas de cogeneración	Habitual
	Optimización energética	Si
	Envolvente térmica optimizada	Si
	Elementos pasivos	Si
	Recuperación de calor	Si
	Sistemas de sombreadamiento	Si
	Integración de Energías Renovables	Si
	Poligeneración	Si
	Simulación energética	Si
	Iluminación eficiente	Si
Optimización en el uso	Si	
Servicios públicos	Alumbrado público eficiente	Si
	Distribución eléctrica eficiente	Si
	Sistemas de gestión energética	Si
	Optimización uso edificios públicos	Si
	Sistemas de distribución de agua eficientes	Si
Agricultura	Regadíos a la demanda	Si
	Sistemas de riego por goteo	Si
	Riego fotovoltaico	Si
	Poligeneración energética	Si
	Autogeneración	Si
Transformación de la energía	Cogeneración	Si
	Poligeneración	Si
	Recuperación de efluentes	Si
	Optimización horaria	Si
	Gestión energética	Si

Además, parte de ellas podrían incluso reproducirse en laboratorio pero muchos de los parámetros que afectan a la eficiencia energética de las instalaciones no son debidos sólo al componente físico de las instalaciones sino que existe un importante componente de gestión y uso. Estos aspectos de gestión y uso deben de ser contemplados en el laboratorio y han de ser reales, no simulados. En la Tabla 30 se analiza la influencia del factor de gestión y uso en cada sector y aplicación.

Tabla 30. Áreas de eficiencia energética e influencia de la gestión

Sector	Instalación	Influencia de la gestión
Industria	Sistemas de motores eléctricos	Media
	Equipos de climatización	Alta
	Sistemas de bombeo	Media
	Redes de distribución de fluidos	Media
	Redes de distribución eléctrica baja tensión	Media
	Redes de distribución eléctrica de media tensión	Media
	Sistemas de calidad de la energía eléctrica	Media
	Sistemas de iluminación industrial	Alta
	Sistemas de aire comprimido	Baja
	Cogeneración	Alta
	Poligeneración	Alta
	Generación térmica	Media
	Recuperación de calor	Media
	Distribución de vapor	Media
Edificación y equipamiento	Generación térmica	Media
	Generación de frío	Media
	Sistemas de cogeneración	Media
	Optimización energética	Media
	Envolvente térmica optimizada	Baja
	Elementos pasivos	Baja
	Recuperación de calor	Media
	Sistemas de sombreado	Baja
	Integración de Energías Renovables	Alta
	Poligeneración	Alta
	Simulación energética	Alta
	Iluminación eficiente	Alta
Optimización en el uso	Alta	
Servicios públicos	Alumbrado público eficiente	Media
	Distribución eléctrica eficiente	Media
	Sistemas de gestión energética	Alta
	Optimización uso edificios públicos	Alta
	Sistemas de distribución de agua eficientes	Alta
Agricultura	Regadíos a la demanda	Media
	Sistemas de riego por goteo	Media
	Riego fotovoltaico	Baja
	Poligeneración energética	Alta
	Autogeneración	Alta
Transformación de la energía	Cogeneración	Alta
	Poligeneración	Alta
	Recuperación de efluentes	Media
	Optimización horaria	Alta
	Gestión energética	Alta

El profesional de la eficiencia energética, ya sea durante un periodo de formación inicial o para el caso de personal profesional existente, debe adquirir conocimientos y destrezas de trabajo orientadas a instalaciones reales y que le permitan elaborar diagnósticos, reconocer oportunidades de mejora, planificar la adopción de estas medidas, implantarlas y seguir los ahorros y efectos derivados de las mismas.

3.6.2. Laboratorio remoto de eficiencia energética clásico frente a sistema distribuido

En el caso de plantear un desarrollo de un laboratorio remoto de eficiencia energética bajo un concepto tradicional, el laboratorio deberá contar con los elementos que se detallan a continuación y cuya infraestructura se muestra en la Fig. 19.

1. El experimento sobre eficiencia energética en sí
2. Dispositivos de instrumentación, equipos para control del experimento y para adquisición de resultados del experimento
3. Servidor situado en el laboratorio para control, supervisión y seguimiento del experimento
4. Servidor de enlace entre usuarios remotos y el servidor de laboratorio, normalmente a través de Internet
5. Opcionalmente un servidor de vídeo que permite que el usuario remoto obtenga imagen y sonido del experimento
6. Opcionalmente herramientas para realización de ensayos y trabajos colaborativos
7. Estaciones de acceso para los usuarios remotos que se conecten a los recursos experimentales, pudiendo ser estas un ordenador convencional preparado para un acceso vía Internet

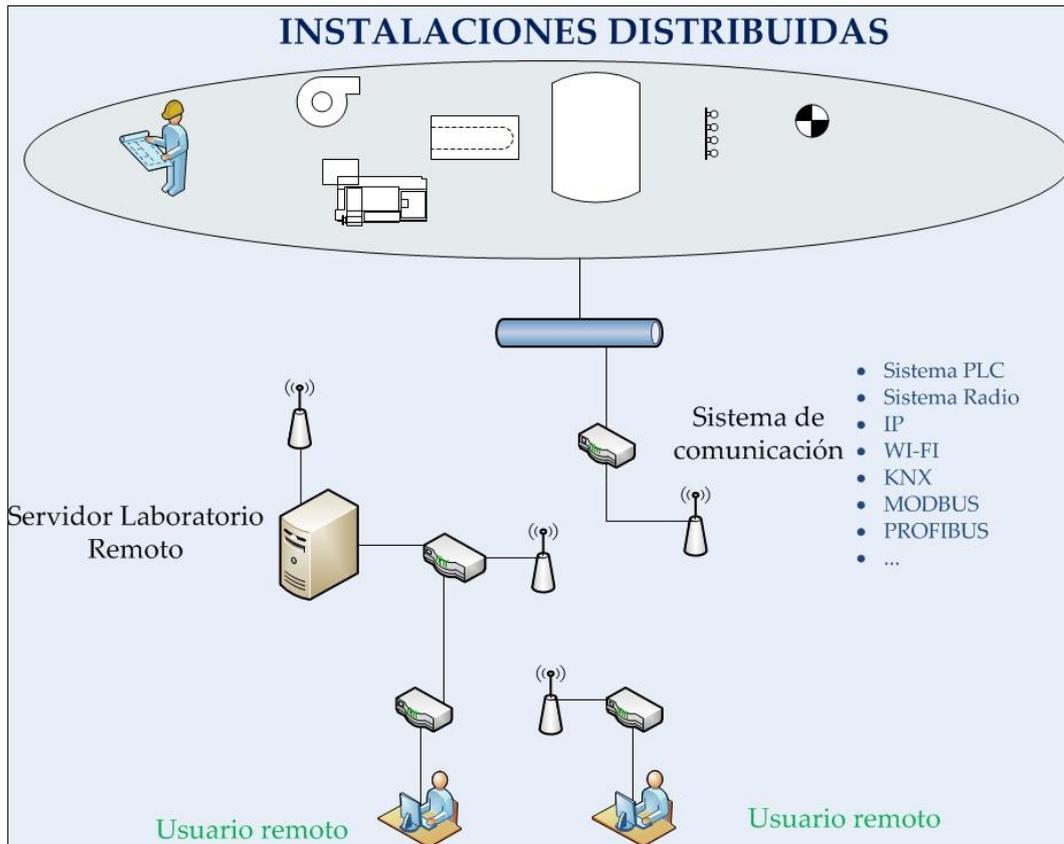


Fig. 19. Infraestructura laboratorio remoto propuesto

Los componentes básicos conformarían el núcleo del laboratorio mientras que los elementos de tipo opcional se podrían utilizar para mejorar la funcionalidad, las capacidades y el nivel de usabilidad. El laboratorio ha de estar enfocado hacia un fin docente y por ello el diseño del experimento sobre eficiencia energética debe centrarse no sólo en aspectos técnicos sino también en aspectos docentes.

Para cada ámbito de desarrollo y experimentación en los campos de eficiencia energética que se vienen exponiendo a lo largo del capítulo sería necesario crear un sistema físico de ensayos y algunos de ellos, por su propia característica distribuida, no podrían ser reproducidos en una instalación convencional de laboratorio. Esta necesidad de construir un laboratorio o centro de ensayos para cada elemento docente implica un elevado coste y una gran complejidad técnica. Una vez realizado el laboratorio posería además una capacidad prácticamente nula de adaptabilidad, no se puede actualizar y no proporciona una solución a los problemas enumerados en la Tabla 27.

El nuevo sistema eléctrico, basado en generación distribuida y en la existencia de una red de comunicación efectiva y eficiente que permita optimizar la planificación y

operación del sistema, disminuir los costes, mejorar la confiabilidad y aumentar la eficiencia energética se presenta como una oportunidad única para crear un laboratorio que cumpla con todos los requisitos deseados, tenga un bajo coste, y sea totalmente configurable, ampliable y escalable.

Se propone un nuevo concepto de laboratorio remoto sin referencias en la bibliografía ni desarrollos en la actualidad, totalmente novedoso, orientado a la obtención de resultados, escalable y sin obsolescencia programada. En este nuevo concepto de laboratorio remoto los centros de experimentación son las instalaciones reales existentes objeto de la monitorización y realización de experimentos. Estas instalaciones reales son de cualquier tipología deseada e incluyen cualquier sector de interés tal como residencial, industrial, agrícola, ganadero, sector de transformación de la energía etc. ya que cualquier instalación existente es susceptible de integrarse en el laboratorio. El laboratorio consiste en una infraestructura de comunicación de datos a través de redes de transmisión de información utilizando protocolos y sistemas desarrollados para medida distribuida y un servidor de almacenamiento de datos o de monitoreo de datos en tiempo real. A partir de estos datos, obtenidos en tiempo real, la entidad desarrolladora de una actividad formativa bajo la modalidad de laboratorio remoto podrá utilizar la información para realizar cualquier tipo de simulación, experimento o evaluación de la mejora de la eficiencia energética utilizando la plataforma de software que mejor se adapte a los requisitos de coste, operación y al nivel formativo requerido. Se elimina totalmente la necesidad de utilizar una plataforma de ensayos determinada, simplemente existen datos a disposición del usuario para que este pueda utilizarlos como mejor desee. Sobre el mismo tipo de experimento e instalación se pueden realizar en paralelo múltiples experimentos bajo diferentes plataformas o herramientas, con diferentes niveles y alcances, desde educación básica hasta doctorados: la complejidad y la profundidad del análisis depende de los requisitos planteados y estos son abiertos. El experimento se puede configurar y desplegar de una forma muy rápida en comparación con un sistema tradicional ya que este sólo requiere del despliegue y configuración de la parte de interfaz humana.

El desarrollo de sistemas Supervision, Control and Data Acquisition (SCADA) puede ser integrado de forma sencilla en un sistema diferido o en tiempo real, siendo la única limitación la velocidad de las comunicaciones, la capacidad de almacenamiento y la seguridad en el manejo y la operación. Bajo esta modalidad se da lugar a un desarrollo que es totalmente bidireccional y orientado a la formación en mejora de la eficiencia energética no sólo en equipos sino también abarcando los

factores de gestión, uso y operación. Bajo un mismo experimento pueden desarrollarse paulatinos experimentos que engloben cualquier nueva aplicación normativa, nuevas tecnologías de ensayos o nuevas herramientas de análisis. Con este planteamiento el laboratorio no tiene una obsolescencia programada ya que cualquier nueva instalación del ámbito industrial, residencial, de servicios públicos o terciaria puede ser incorporada al banco de experimentos.

El laboratorio es totalmente deslocalizado ya que los experimentos pueden estar situados a gran distancia de la zona de formación, que además puede no existir y consistir simplemente en el entorno del trabajo del propio estudiante. Esto facilita y posibilita el uso del laboratorio por parte del usuario de forma autónoma y durante sus horas de estudio, además de dinamizar la formación a alumnos presenciales.

El aspecto de la gestión es fundamental, tal y como ha quedado probado, en el ámbito de la eficiencia energética. La gestión en el uso, que incluye aspectos como horarios, consignas, niveles de ocupación, filosofía de uso por parte de los usuarios, concienciación por parte de los usuarios etc. constituye un elemento difícilmente medible y simulable en un laboratorio al uso. En una instalación real este criterio está totalmente integrado y permite además que el estudiante pueda adquirir nociones y desarrollar propuestas de mejora sobre este factor de gestión.

Este desarrollo y centrado en estas características supone una nueva filosofía de laboratorio que da solución a muchos de los problemas y carencias planteados en los desarrollos existentes y da además respuesta a la necesidad de un nuevo sistema de formación sobre eficiencia energética.

En la Fig. 19 se muestra cuál es la infraestructura del laboratorio propuesta. El laboratorio cuenta con una capa de experimentación, correspondiente a instalaciones reales, una capa de comunicación, basada en tecnologías de comunicación en redes distribuidas, una capa de servicio de datos y una capa de terminales. Se analiza a continuación cada uno de los componentes.

A. Capa de experimentación

Tal y como se ha indicado y analizando los experimentos constituyen instalaciones reales que se adhieren a la red de experimentación en eficiencia energética. Este sistema permite que instalaciones de todo tipo puedan ser incluidas en la batería de experimentos y que además no exista la posibilidad de que con el paso del tiempo se tenga una realidad experimental ajena a los desarrollos de la técnica y al

estado real en esta materia. El laboratorio, por su propia concepción, autoadapta su línea de experimentos a la realidad de las instalaciones existentes. El usuario o estudiante puede ser una persona en formación o un profesional que se somete a reciclaje profesional. Este reciclaje puede ser periódico y continuo e incluir aspectos de gestión y mejora de la eficiencia energética que le proporcionarán las herramientas necesarias para poder aplicar los conocimientos en su trabajo real, contribuyendo de este modo a un proceso de mejora global.

Esta tipología de configuración experimental implica que el sistema no tiene capacidad de obsolescencia ya que no se diseña e instala un laboratorio para la realización de experimentos sino que se diseña una infraestructura y una filosofía de trabajo que es, en realidad, ilimitada en cuanto a experimentos. En la Fig. 20 se muestra cómo el sistema puede adaptarse de forma total a cualquier tipo de instalación y cómo se puede integrar de forma sencilla e ilimitada un nuevo desarrollo tecnológico sobre eficiencia energética.

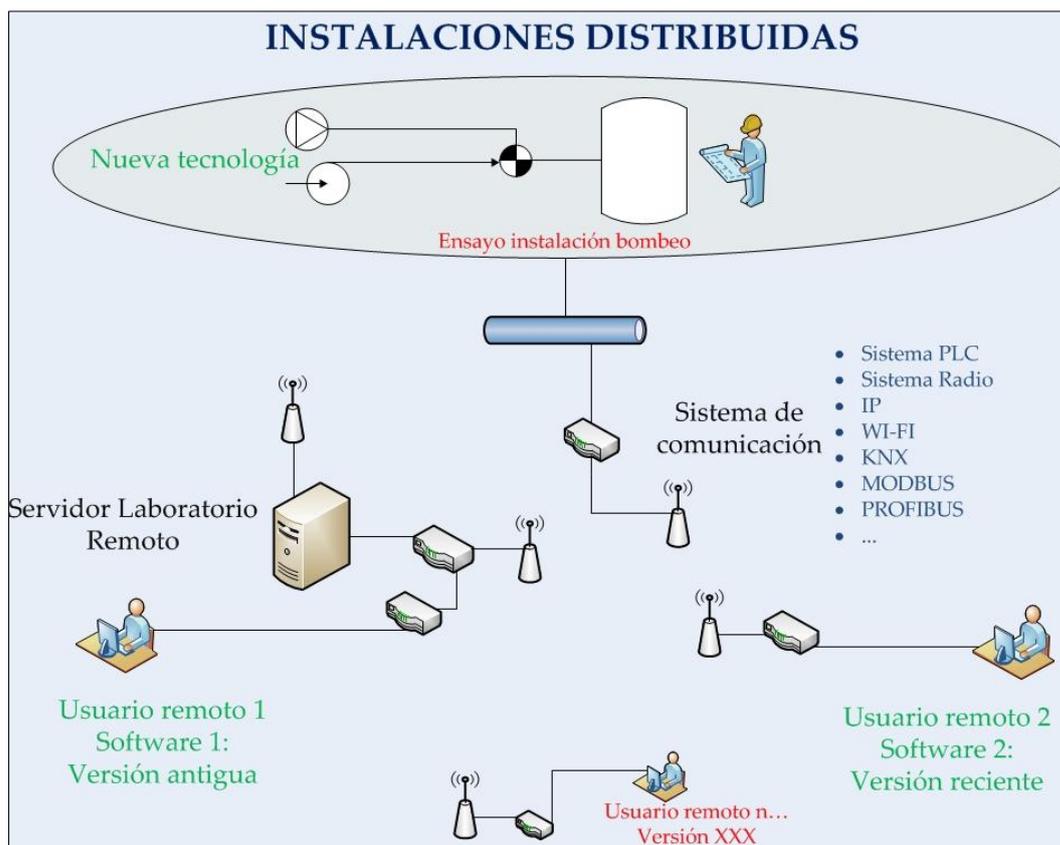


Fig. 20. Laboratorio remoto propuesto: capacidad total de integración nuevos desarrollos

Esta posibilidad de integración de diferentes instalaciones para la generación de experimentos y la formación permite que se pueda establecer una red real de

entidades colaborativas que aglutinarán de forma efectiva organismos públicos, privados, administraciones y entidades formativas. No existe límite ni requisitos limitantes. El sistema es una herramienta para la mejora de la eficiencia energética en la sociedad ya que permite la formación transversal de todo tipo de trabajadores y futuros profesionales, pero además de esto es un difusor del conocimiento y de la innovación tecnológica. Los usuarios del sistema de experimentación pueden aplicar técnicas de mejora de la eficiencia energética, simular sus resultados, proponer mejoras en la gestión, evaluar deficiencias y proponer mejoras. Estas propuestas de mejora son trasladadas a las instalaciones e implementadas en el caso de un sistema de laboratorio con tipología SCADA. Las innovaciones y desarrollos en la materia se transfieren de forma eficaz y directa a las instalaciones lo que proporciona una vía de mejora real de la eficiencia energética, disminuye el coste frente a cualquier otro sistema y posibilita una diversificación del conocimiento a todos los niveles.

B. Capa de comunicación

Todos los datos que se recogen en cualquier instalación integrada en el sistema de laboratorio remoto han de ser transmitidos, en tiempo real, de forma diferida o por lotes al servidor de datos del laboratorio. El sistema de transmisión, al igual que todo el resto del laboratorio, puede ser cualquiera que cumpla con los requisitos técnicos requeridos. No existe limitación de configuración ni ningún estándar que haya de ser seguido. Este planteamiento es totalmente diferente a un laboratorio convencional donde la comunicación entre los dispositivos de ensayos, registradores, sensores etc. y el servidor se realiza, tal y como se ha mostrado en la revisión del estado del arte, utilizando un determinado protocolo, habitualmente de propietario y habitualmente sin posibilidad de integración con otras tecnologías como consecuencia de incompatibilidades de software, hardware o protocolos de transmisión de datos.

Los sistemas de transmisión de datos, en función de la cantidad de información a transmitir, la distancia al servidor de datos del laboratorio, la infraestructura de la propia instalación experimental y cualquier otro requisito puede ser cualquiera que cumpla con las necesidades. Este protocolo puede ser, además, actualizado con cualquier nueva tecnología que se desarrolle ya que no existe ninguna relación entre el protocolo de comunicaciones y la parte de laboratorio y terminales de usuario, simplemente actúa como una pasarela de información. Esto abre la puerta a poder utilizar sistemas de transmisión variados y con diferentes capas físicas: IP, Modbus, radio, TCP, Profibus, KNX etc. si bien para aprovechar las máximas posibilidades y funcionalidades de las nuevas redes inteligentes para generación distribuida,

habitualmente referenciadas en la bibliografía como Smart Grids (SG) se propone el uso de la tecnología Power Line Communication (PLC) como sistema prioritario para utilización en la última etapa de comunicación que engloba el tramo final de conexión con la instalación a medir y monitorear. Cualquier otro sistema será válido y se propondrá en el respectivo capítulo algún experimento utilizando distintos protocolos, lo que verifica la total adaptabilidad y flexibilidad del laboratorio.

El optar por el uso del sistema PLC como protocolo principal de comunicación en la parte de la infraestructura más próxima a la instalación supone dotar al desarrollo propuesto en esta tesis de los últimos avances tecnológicos y apostar además por tecnologías que se implantará como estándares de medida y control en SG. Esto asegura una total innovación tecnológica adicional a la que supone el propio concepto de laboratorio remoto con medida distribuida. La Fig. 21 muestra la capacidad del sistema para trabajar bajo varios protocolos de comunicación ya sea de forma simultánea o diferida en el tiempo. La tecnología de transmisión PLC así como la posible aplicación de cualquier otro desarrollo existente o futuro se abordará de forma detallada en el capítulo 4.

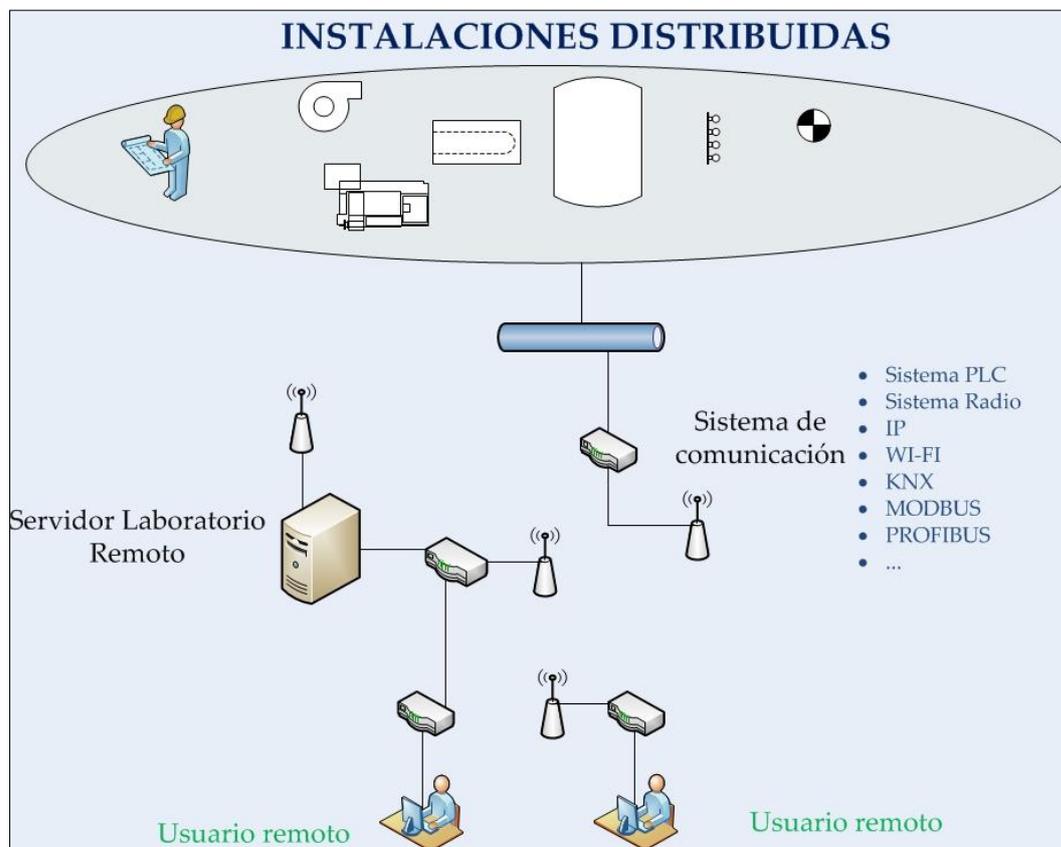


Fig. 21. Capacidad de uso de múltiples sistemas de comunicación en el laboratorio remoto

C. Capa de servicio de datos

El servicio de datos corresponde con la infraestructura para almacenamiento de información para posterior uso y análisis en el laboratorio. Este dispositivo o dispositivos de gestión y almacenamiento de datos pueden existir en el lugar físico del laboratorio, en la propia instalación o no existir como máquina separada. Constituye este sistema un servidor de datos para el almacenamiento de información y posterior tratamiento. Este almacenamiento de datos puede ser, en función de la necesidad, distribuido o no, físico o no. El uso de servidores de datos virtuales posibilita integrar estos servicios en cualquier otra máquina, pudiendo finalmente contar el laboratorio con uno o varios servidores físicos o virtuales. Las necesidades de almacenamiento de datos y la velocidad de transmisión entre la instalación física y la instalación de realización de experimentos determinarán estas características.

Por lo tanto no existe limitación tampoco en la infraestructura y tipo de base de datos a utilizar, pudiendo ser esta de tipo propietario, basada en software libre o de diferentes tipos en función de la necesidad. Los adecuados sistemas de pasarela de datos permiten que se pueda interactuar de forma sencilla entre diferentes sistemas y se vuelve a demostrar la capacidad de adaptación a diferentes desarrollos y a futuras tecnologías.

D. Capa de terminales

Los terminales son los equipos en los que el usuario realiza el análisis de la información y el tratamiento de los datos con el objetivo de obtener conclusiones, valorar niveles de eficiencia energética, proponer mejoras, realizar simulaciones o enviar consignas y configuraciones en el caso de un sistema de tipo bidireccional. Estos terminales pueden constituir un laboratorio de formación para estudiantes donde un docente realiza una actividad formativa que los usuarios siguen o reproducen en sus terminales o puede ser un terminal autónomo para un estudiante de ámbito docente o profesional.

En un laboratorio remoto convencional, como los analizados en este capítulo, existe un software para el que se desarrolla el laboratorio, no existiendo ninguna posibilidad de uso multisoftware y de adaptación al tipo de usuario o a las condiciones económicas disponibles.

El uso de una herramienta de software, habitualmente MATLAB/Simulink o cualquier otra similar implica unos costes y la necesidad de poseer licencias de uso

para la herramienta en cuestión. Esto limita el alcance a múltiples usuarios en función de la posesión o no de licencias y según su posibilidad de acceso a estas herramientas. Esto conlleva que no existe posibilidad de universalidad y de acceso total a la infraestructura del laboratorio. Herramientas como MATLAB/Simulink son de uso muy común en universidades, centros de investigación y empresas especializadas pero el acceso a estas herramientas y a otras similares no es común por parte de la gran parte de las empresas ni por administraciones públicas. Para el caso de MATLAB/Simulink, referencia en el ámbito de la investigación, sólo 10 de cada 100 grandes empresas de ingeniería (10%) tienen acceso a esta herramienta y para el caso de las PYMEs la cifra se reduce a una de cada 500 empresas (0,5%). Esto implica que el desarrollar soluciones de formación en este ámbito para que las empresas puedan incorporar técnicas de eficiencia energética no es funcional ni tendrá el desarrollo y los resultados esperables.

Para el caso de la administración pública este aspecto es incluso mucho más limitante ya que a día de hoy ninguna administración pública como tal (no incluyendo institutos de investigación) cuenta con esta herramienta. Esto demuestra y prueba que existe una descoordinación entre la realidad de las empresas y administraciones y la de la investigación fundamental realizada en las universidades. Las soluciones planteadas en la universidad tienen una capacidad de transferencia muy baja a los organismos y empresas que deben promover la eficiencia energética en las instalaciones reales existentes o que se diseñen en un futuro. En la Fig. 22 se muestra un ejemplo en el que diferentes usuarios remotos del laboratorio pueden trabajar en un mismo experimento utilizando diferentes herramientas.



Fig. 22. Laboratorio remoto: uso de diferentes herramientas de análisis

El laboratorio remoto de eficiencia energética no surge como un desarrollo teórico orientado a la investigación básica sino como una herramienta docente y de investigación que tenga el mayor impacto posible en la sociedad, teniendo como referencia que el principal objetivo es lograr transferir esos conocimientos para poder dar cumplimiento a los planes de mejora de la eficiencia energética referidos en el capítulo 1 y capítulo 2.

En la nueva propuesta esta limitación se ve completamente superada ya que el sistema proporciona acceso a datos sobre mediciones de instalaciones para el análisis de la eficiencia energética que pueden ser tratados con cualquier herramienta que permita las funcionalidades requeridas y realizar los análisis pertinentes. El tratamiento de datos, análisis de la eficiencia energética y el análisis de mejoras puede realizarse con aplicaciones libres o de pago pero adaptadas a las necesidades del usuario final. Este puede ser un estudiante de ingeniería, un trabajador de una empresa de mantenimiento, un responsable de una ESE o un docente universitario.

En la Tabla 31 se muestran algunas de las herramientas que se proponen para la realización de ensayos en el laboratorio y se valida la frecuencia con que estas herramientas existen en las entidades públicas o privadas objeto de la formación.

Tabla 31. Herramientas de análisis y frecuencia de uso

Tipo de herramienta	Nombre	Tipo licencia	Frecuencia de uso
Hojas de cálculo	Microsoft Excel	Propietario	Muy alta
	Openffice	Libre	Baja
	LibreOffice	Libre	Baja
	Lotus	Propietario	Baja
	Otras soluciones	-	Muy baja
Simulación energética	MATLAB/Simulink	Propietario	Media
	TRNSYS	Propietario	Muy alta
	eQuest	Libre	Media
	EnergyPlus	Libre	Media
	Hays	Propietario	Baja
	SCILAB	Libre	Baja
	DOE 2.0	Libre	Media
	Esp-r	Libre	Baja
	Otras herramientas de simulación	-	Muy baja
	Desarrollos propios- Diversos lenguajes de programación	-	Muy baja
Análisis económico y financiero mejoras energéticas	Microsoft Excel	Propietario	Muy alta
	MATLAB	Propietario	Muy baja
	Openffice	Libre	Media
	LibreOffice	Libre	Media
	Lotus	Libre	Baja
	Otras soluciones	-	Muy baja
	Desarrollos propios- Diversos lenguajes de programación	-	Muy baja

El trabajo y análisis de datos con herramienta de hoja de cálculo corresponde la herramienta de trabajo más usual entre trabajadores en el ámbito energético tanto a nivel de explotación como de diseño. Estas herramientas tienen un coste de licencia asumible y son multidisciplinares por lo que son las herramientas más comúnmente utilizadas. Existe la posibilidad de desarrollar código propio para estas hojas de cálculo mediante diversos lenguajes de programación, generalmente VBA, lo que amplía la posibilidad de experimentación hasta un nivel teóricamente ilimitado. Este motivo es uno de los ha motivado que gran parte de los desarrollos que se presentarán en sucesivos capítulos se hayan realizado con esta herramienta ya demostrar la posibilidad de uso del laboratorio con sistemas de uso habitual y acceso sencillo es uno de los principales retos y determina que el laboratorio pueda tener éxito y cumpla con las necesidades reales detectadas.

En el aspecto de la integración con SGE y herramientas docentes los datos y los resultados pueden ser usados en cualquier sistema de docencia vía Web, multimedia o presencial. En resumidas cuentas se tienen datos reales de instalaciones para el análisis y el diagnóstico mediante cualquiera de las herramientas presentadas y cualquier otra que se desarrolle en un futuro. Este análisis y elaboración de contenidos docentes puede ser utilizado a demanda con una capacidad teóricamente ilimitada. En la Fig. 23 se ejemplifica cómo el sistema puede ser utilizado por diferentes usuarios independientemente de la herramienta de análisis que utilicen y también de la versión de la misma, no siendo totalmente necesario que esta sea la última versión disponible. Del mismo modo se ejemplifica en la Fig. 24 un experimento de análisis de la eficiencia energética en sistemas de bombeo y cómo en función del tipo de usuario y de los requerimientos, trabajarán con diferentes herramientas y objetivos logrando de este modo un servicio eficaz.

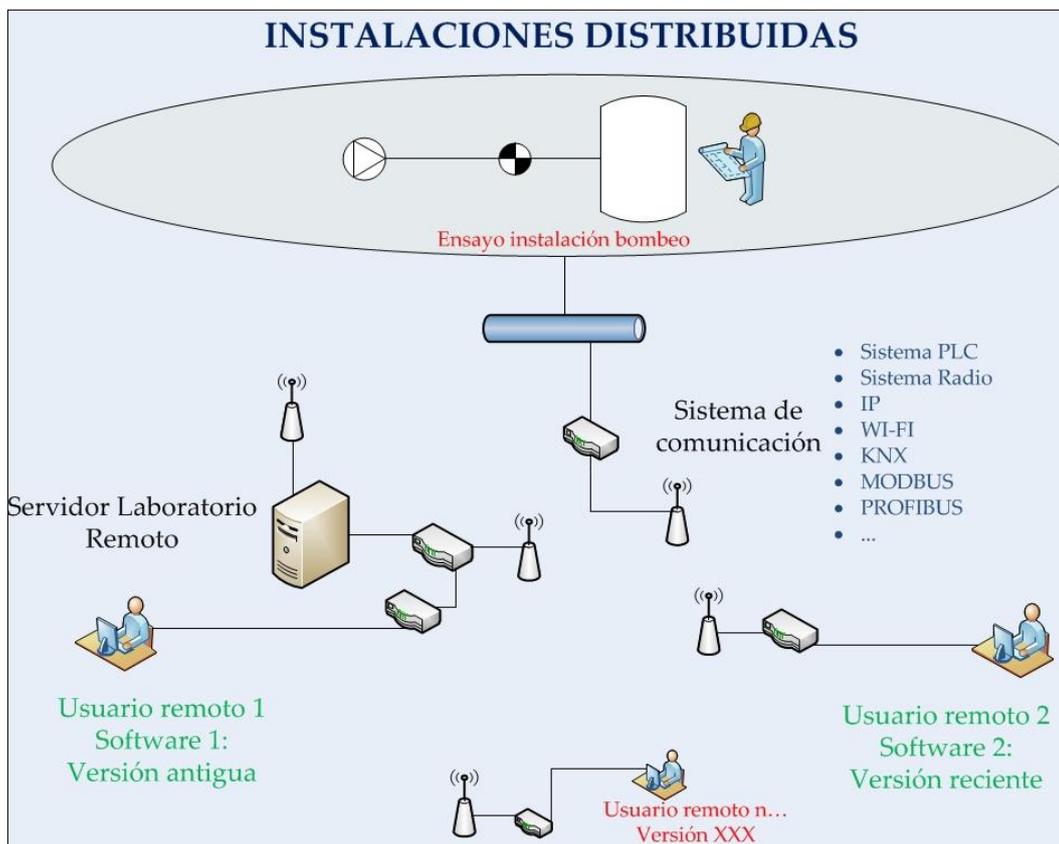


Fig. 23. Capacidad de laboratorio remoto uso con diferentes versiones software

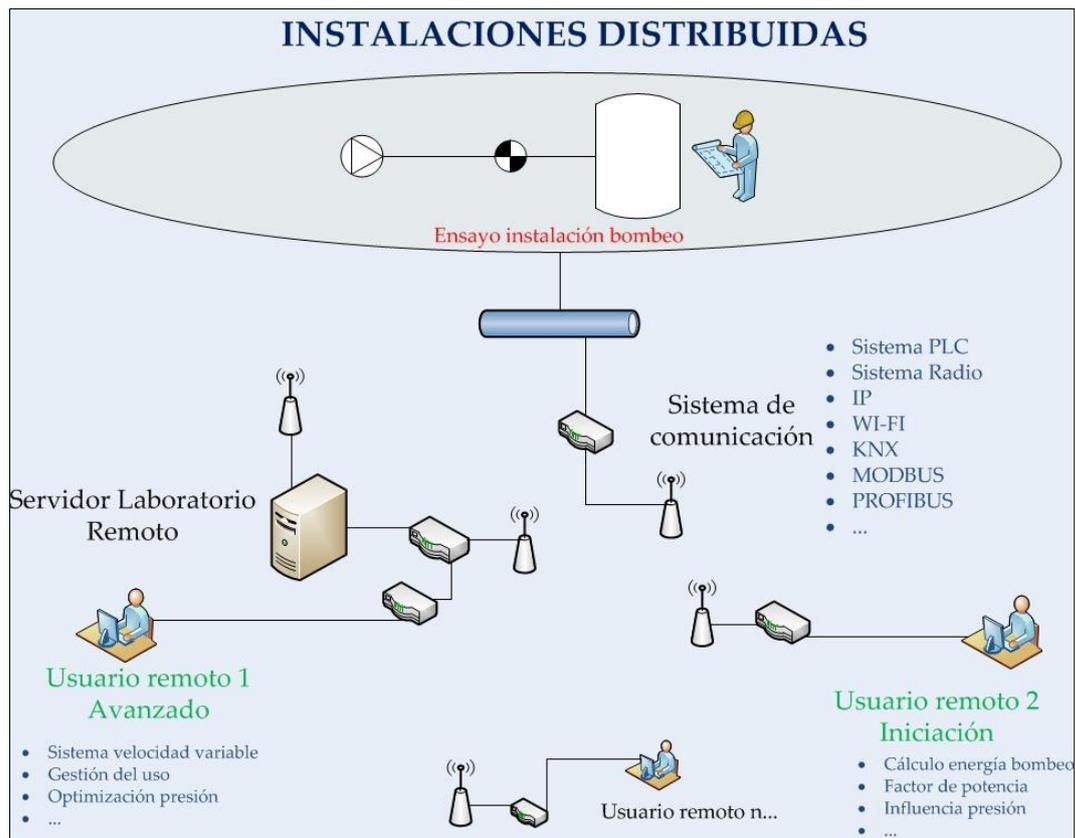


Fig. 24. Realización de análisis por parte de diferentes usuarios sobre el mismo experimento

3.6.3. Análisis de cumplimiento de requisitos

El objetivo final del laboratorio de eficiencia energética es el cumplir con el máximo número de requisitos que debe tener un laboratorio y que se presentaban anteriormente como carencias. En este apartado final se estudian las aportaciones que realiza el laboratorio frente a los sistemas desarrollados en cuanto a laboratorios remotos y cómo contribuye a la mejora y al desarrollo de la técnica.

En la Tabla 32 se analizan cuáles eran las principales limitaciones de las que adolece un sistema de laboratorio remoto que se han analizado anteriormente y qué respuestas proporciona la integración en redes de generación distribuida.

Tabla 32. Cumplimiento de requisitos del laboratorio

Aspecto	Solución presentada en laboratorio de eficiencia energética
Desarrollo teórico no integrado	Posibilidad ilimitada de integración con contenidos teóricos y orientados a la docencia
Adaptación a cambios en normativa compleja	Adaptable a cualquier nueva regulación normativa
Poca relación real con tecnologías industriales y comerciales	Datos e instalaciones reales a nivel industrial y comercial
Integración compleja con Sistemas de Gestión Enseñanza	Capacidad ilimitada de integración con SGE
Pocas posibilidades de configuración	Configurabilidad ilimitada
No adaptables a necesidades específicas	Adaptable a requisitos y necesidades propias del usuario
Uso habitual de software con coste de licencia	Uso de software libre o con licencia elegible en función de requisitos y necesidades
Uso habitual de tecnología de propietario	Tecnología de propietario elegible
Sin capacidad para reproducción de instalaciones industriales reales	Basado en instalaciones reales
No pensados para el acceso y la formación a profesionales	Configurable y con capacidad de ser adaptado a la formación de profesionales
No modulares	Modular y escalable
Sin capacidad de uso simultáneo	Uso simultáneo permitido
Acceso 24 horas 365 días limitado	Acceso permanente
Necesidad de desarrollo informático especializado	Desarrollo informático a demanda
Complejidad técnica de los experimentos no adaptable al usuario	Complejidad y tipología de análisis adaptable
No actualizables	Actualizable

Se crea pues la oportunidad de crear un nuevo concepto de laboratorio orientado a la mejora de las condiciones docentes y con capacidad real de contribuir a la mejora de la eficiencia energética. La posibilidad de monitorizar y ensayar instalaciones similares permite detectar la influencia de la gestión en estos parámetros, desviaciones y establecer líneas base. Esta información puede ser aplicada de forma efectiva para la realización un benchmarking tecnológico y permite que los expertos en formación y los investigadores puedan proponer mejoras a partir de observaciones realizadas en otras instalaciones similares o corregir comportamientos y modos de operación poco eficientes.

Este sistema propuesto permite además la inclusión de esta formación en diferentes modalidades de educación incluyendo la educación a distancia, metodología en la que la UNED es un referente nacional e internacional. Dentro del marco de desarrollo de la tesis se crea una herramienta de mejora de la capacidad

formativa y docente en esta universidad y se abre una mejora competitiva frente a otras entidades que puedan ofrecer soluciones formativas a distancia.

El aspecto de la colaboración no es menos importante. El desarrollo y la mejora continua de estas aplicaciones requieren de continuas aportaciones y adaptaciones al estado de desarrollo tecnológico. El desarrollo en modo colaborativo por parte de diferentes organismos y expertos redundará en una clara mejora de la solución final y abre las puertas a una transmisión real y efectiva del conocimiento. En el caso de la eficiencia energética se abre la posibilidad de ofrecer acciones formativas a países en vías de desarrollo, zonas deprimidas o colectivos sociales sin acceso a formación presencial.

3.7. CONCLUSIONES

Se ha analizado en este capítulo qué tendencias y desarrollos existen en materia de laboratorios remotos a nivel nacional e internacional y se han relacionado estos desarrollos con las necesidades detectadas a nivel de docencia en el ámbito de la eficiencia energética. Tras comprobar los aspectos de los que adolecen los sistemas actuales se ha propuesto una metodología de sistema de laboratorio remoto integrado en una red de generación distribuida y que presenta una total innovación frente a los desarrollos existentes. El centro de experimentación o instalación física pasa a ser sustituido por una instalación real integrada en una red de generación distribuida y se utilizan las tecnologías de comunicación idóneas para transmitir la información que posteriormente se analizará. No existe por lo tanto limitación alguna como consecuencia del espacio físico o las instalaciones existentes, sino que esta viene dada por el propio número de instalaciones que se integren en la experimentación.

La realización de ensayos está sólo limitada por las herramientas que se desarrollen y no existe la necesidad de utilizar protocolos, herramientas o sistemas específicos. Además el laboratorio abre la posibilidad de un trabajo colaborativo entre diferentes organismos y entes sociales representando por lo tanto una oportunidad de avance real.

4. INTEGRACIÓN DEL LABORATORIO EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Una red inteligente, conocida como Smart Grid, es un concepto que no se refiere a un sistema concreto, a una red o a una concepción. Las SG engloban el nuevo concepto de sistema eléctrico y es en este sistema donde se debe enmarcar el laboratorio remoto. Este puede funcionar con un sistema de red convencional pero los desarrollos en SGs hacen que se convierta en una herramienta muy potente aprovechando los sistemas de medida y de transmisión de la información.

Existen muchos organismos y plataformas de investigación que estudian las SGs y proponen diferentes definiciones. El DOE, NERC y la plataforma Europea (SmartGrids Technology Platform) definen una SG como un sistema que utiliza las tecnologías de la información y la comunicación para transmitir y distribuir de forma óptima energía eléctrica desde los generadores hasta los consumidores (M2M, 2009), (DOE, 2009). Esto implica que las SGs no son un concepto estático sino que engloban muchas tecnologías, algunas de ellas aún en desarrollo. En una SG se integran conceptos de generación distribuida, gestión y optimización del consumo, análisis de la demanda, comunicación en tiempo real y otra serie de retos tecnológicos (Energy Vortex, 2009).

Los principales componentes que integran una SG y que conforman el reto tecnológico y de desarrollo son:

- Sistemas de comunicación bidireccionales.
- Componentes avanzados.
- Componentes avanzados de control.
- Sensores y sistemas de medida.
- Métodos y sistemas de toma de decisión avanzados y de alta seguridad.
- Aplicaciones derivadas de la propia infraestructura de SG.

A. Sistemas de comunicación bidireccionales

Los sistemas de comunicación bidireccionales sirven para monitorizar en tiempo real la red e interactuar con todos sus componentes. Este tipo de comunicación

permite al sistema de gestión (operador) mejorar su función y optimizar el funcionamiento global del sistema. En el caso de detección de problemas en la red el punto de consumo es informado de forma rápida y eficaz de modo que se produce una rápida resolución de los problemas y disminuyen drásticamente los costes operacionales del sistema. Para poder llevar a cabo esto es necesario contar con sistemas de comunicación bidireccionales. Los sistemas de comunicación pueden ser de varios tipos, algunos de ellos ya se encuentran desarrollados y otros están en fase actual de desarrollo. Entre estos sistemas destacan los que actualmente se utilizan para la medición automática de consumos, conocidos por sus siglas en inglés derivadas del término Automatic Meter Reading (AMR). Estas tecnologías se utilizan y aprovechan para el desarrollo del laboratorio remoto permitiendo que se pueda acceder a experimentos mediante la lectura en tiempo real o diferido de parámetros energéticos de la misma.

B. Componentes avanzados

Las SGs contarán con componentes avanzados que incluyen superconductores, sistemas de almacenamiento de energía, sistemas de protección avanzada y equipos de autodiagnóstico. Estas tecnologías son determinantes para que la red funcione del modo deseado y se eviten problemas. El uso generalizado de los sistemas de generación basados en energía eólica y solar implica desajustes entre las curvas de generación y demanda y obliga a la instalación de sistemas de acumulación energética. Estos sistemas acoplarán las curvas de forma efectiva e integrarán otros dispositivos como el vehículo eléctrico.

C. Componentes avanzados de control

El utilizar sistemas de comunicación bidireccional permite implementar sistemas de control avanzado tanto automáticos como humanos. Estos dispositivos controlarán todos los dispositivos que integran la SG y contienen protocolos de recolección de datos, verificación de funcionamiento, gestión del mantenimiento, acoplamiento de curvas de demanda y generación y reducción de averías e incidencias.

D. Sensores y sistemas de medida

Los sensores y los sistemas de medida son herramientas fundamentales para garantizar la estabilidad y el correcto funcionamiento de la red. El equipo más habitual es un medidor de energía que tenga capacidad de comunicación utilizando las tecnologías anteriormente descritas. Dependiendo del objetivo, el consumidor, las

compañías suministradoras, generadores, el operador del sistema o cualquier otro elemento de la red necesitarán acceder a lecturas de diferentes parámetros. Estos sistemas se utilizarán además para la tarificación de la energía consumida y generada por los distintos agentes del sistema.

E. Métodos y sistemas de toma de decisión avanzados y de alta seguridad

En un sistema en el que se debe intercambiar una cantidad tan grande de información e interactuar de forma continua es muy importante contar con sistemas de interfaz ágiles, sencillos y que tengan una elevada usabilidad. Estos sistemas han de ser a la vez avanzados y orientados a la toma de decisiones con elevada seguridad.

F. Aplicaciones derivadas de la propia infraestructura de SG

Dentro de la propia infraestructura y de esta concepción se integran de forma eficaz y eficiente múltiples aplicaciones orientadas a una gestión energética que conlleve el menor consumo de energía primaria. Entre estas aplicaciones destaca el uso de las energías renovables, que podrán formar parte integrante del conjunto o mix de generación con elevada seguridad y permitiendo el uso en aplicaciones como la locomoción, mediante el uso del vehículo eléctrico (IEC, 2007).

4.1. INTEGRACIÓN DEL LABORATORIO REMOTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS SG

El propio concepto de una SG implica la utilización e integración de las tecnologías TIC dentro del sistema como una herramienta imprescindible para garantizar el adecuado funcionamiento y la operatividad.

Los sistemas de gestión energética y de medida energética a nivel industrial y edificatorio permiten monitorizar y controlar consumos energéticos y almacenar información histórica. En una SG estas tecnologías han de ser bidireccionales para garantizar un adecuado funcionamiento. Todo ello implica que existe un elevado flujo de información energética sobre multitud de instalaciones consumidoras y generadoras de energía: ¿por qué no aprovechar esta información para otro uso?. Ante esta cuestión surge el laboratorio remoto. Toda esta información sobre instalaciones reales en funcionamiento se puede acoplar y utilizar para realizar ensayos, simulaciones y acciones educativas en materia de eficiencia energética, según se ha descrito en apartados anteriores.

El estudiante ensayará con cualquier tipo de tecnología de análisis y con una instalación real, tomará datos reales y deberá proponer actuaciones de disminución de la demanda energética y de la mejora de la eficiencia energética. El propio sistema permite que las instalaciones que se agrupan en el laboratorio remoto sólo estén limitadas por las que realmente existen dentro de la SG, no hay límite ni requisitos adicionales para la incorporación. Sobre una misma instalación se pueden programar ensayos diferentes en función del tipo de herramienta de software, del tipo de estudiante, de su nivel educativo etc., se abre la puerta a un sistema que da solución a problemas reales en materia de formación en eficiencia energética y que actuará además como vector en este ámbito.

Existen multitud de tecnologías que pueden ser utilizadas para la transmisión de información. Estas tecnologías completamente maduras y desarrolladas son las que se han utilizado, en gran parte, para los experimentos propuestos en esta tesis como primera versión del laboratorio remoto. Se demuestra el amplio potencial y el cumplimiento total de la funcionalidad pretendida pero el objetivo es mucho más amplio: promover el uso de las tecnologías punteras y que conformarán el grueso de la transmisión de información en SG en los próximos años. La tecnología que más se adecúa a este propósito es la tecnología PLC, que utiliza como infraestructura física de transmisión de datos la propia línea eléctrica, ya en gran parte desplegada e instalada. Esta tecnología no puede, por sus características tecnológicas, sustituir a todos los sistemas de comunicación existentes hoy en día sino que actuará como elemento transmisor de información en últimas etapas del sistema eléctrico (capa de distribución final). Esta tecnología de comunicación se analiza en profundidad en este capítulo y se propone, de forma justificada, su utilización como sistema prioritario de comunicación en la etapa de entre el laboratorio remoto y las instalaciones integradas en la infraestructura del mismo.

4.1.1. Contadores inteligentes en Smart Grids

Los contadores energéticos inteligentes son uno de los principales componentes en una SG para garantizar el adecuado funcionamiento y la operatividad de la red. Dentro del desarrollo de laboratorio propuesto son un también un elemento fundamental, ya que actúan como sensores de campo y permiten recopilar información sobre consumos energéticos para posteriormente proponer ensayos y acciones formativas al estudiante.

Un medidor inteligente, conocido habitualmente por sus términos en inglés Smart Meter (SM), es un contador de energía avanzado que mide el consumo de un cliente y proporciona información adicional en comparación con un medidor de energía normal. Los contadores inteligentes pueden leer información en tiempo real sobre el consumo de energía incluyendo valores de tensión, ángulo de fase, frecuencia etc. y comunicar estos datos de forma segura, generalmente a una compañía eléctrica. En el caso propuesto y que nos atañe esta información será proporcionada al laboratorio remoto. La capacidad de los contadores inteligentes con comunicación bidireccional de datos permite la capacidad de recopilar información y retroalimentar la medición con consignas, parámetros o cualquier otro valor. Un sistema de medición inteligente incluye un SM, la infraestructura de comunicaciones y dispositivos de control. Los dispositivos tipo SM pueden comunicar y ejecutar comandos de control remoto así como comandos también a nivel local. Los SMs se pueden utilizar para controlar dispositivos en las instalaciones del cliente o en la instalación medida. También pueden recopilar información de diagnóstico acerca de la red eléctrica, los equipos consumidores de energía y puede comunicarse con otros medidores a su alcance. Se puede medir el consumo de electricidad de la red, la energía generada por fuentes de apoyo de generación descentralizada y el funcionamiento de sistemas de almacenamiento de energía así como gestionar la tarificación y retribución de la energía. Los datos recogidos por un SM son una combinación de parámetros tales como un identificador único del punto medido, fecha y hora de los datos y otros parámetros registrados. Los SMs pueden ser programados de tal manera que sólo la energía consumida desde la red de suministro eléctrico se facture mientras que la energía consumida de las fuentes de generación distribuida o dispositivos de almacenamiento situados en las instalaciones del cliente no se contabilice para la facturación. Los SM se pueden también utilizar para limitar el máximo consumo de electricidad y pueden utilizarse para labores de conexión o desconexión de suministro de electricidad a cualquier cliente de forma remota (Vodjani, 2008), (Hart, 2008).

Un SM cuenta con varios dispositivos de control, sensores para identificar los parámetros deseados y dispositivos para transferir datos y comandos u órdenes. Además en las futuras redes de distribución de electricidad, los SMs desempeñan un papel importante en el seguimiento de la operación de la red. Esta información puede ser recogida y utilizada para la realización de experimentos y ensayos. La recopilación de datos sobre el consumo de energía de todos los clientes permite administrar la red eléctrica de manera más eficiente y también sirve para asesorar a los clientes sobre sistemas de gestión energética que disminuyan el consumo de energía y los costes. A la luz de estas propiedades los SMs se pueden utilizar para controlar iluminación,

climatización, aire acondicionado y otros dispositivos otros aparatos (Gerwen et al., 2011). Los medidores inteligentes pueden ser programados para hacer funcionar dispositivos bajo un horario de funcionamiento establecido o interrumpir el suministro de dispositivos como corresponda. Además, la integración de los SMs ayuda a las empresas de servicios públicos en la detección de consumos no autorizados con vistas a mejorar la eficiencia global y la calidad de la energía (Depuru et al., 2010). El diseño de los mercados de electricidad futuros tiene como objetivo ofrecer a los consumidores un acceso al mercado muy fiable, flexible, fácilmente accesible y rentable (Chebbo, 2007). Además la generación distribuida será un parte esencial integral de los futuros sistemas de energía en las viviendas. De cara a las empresas suministradoras podrán utilizar éstos sistemas para tratar de identificar a los clientes más rentables y proporcionarles servicios opcionales de alto valor añadido. Un SM puede identificar los puntos de medida en función de las fuentes de generación distribuida u otro parámetro deseado. Con todos estos servicios y la gran cantidad de información disponible se requiere de estrategias para recoger grandes cantidades de datos en tiempo real y gestionarlos. Esta información puede utilizarse para gestión y facturación o buscar un uso sin coste añadido y con un potencial prácticamente ilimitado: su uso con fines docentes.

4.1.2. Tecnologías de comunicación de datos para Smart Meters

De todas las consideraciones de diseño, la selección de la comunicación en la red y el diseño de los dispositivos de comunicación son muy importantes y debe responder a múltiples exigencias complejas. Como se discutió anteriormente, la utilización del sistema SM supone un gran cantidad de transferencia de datos entre el punto de lectura y el de recepción de la información (operador del sistema empresa energética, laboratorio remoto etc.). Esta información es sensible y confidencial y el acceso a estos datos debe limitarse. Con estas restricciones en los datos las directrices de seguridad son imprescindibles en los aspectos de transmisión, recogida, almacenamiento y mantenimiento de los datos de consumo de energía. Las normas de comunicación y las directrices deben garantizar que la transferencia de datos dentro de la red es segura. Es igualmente importante que estos contengan de forma completa y unívoca la información completa sobre el consumo de energía en el punto medido y el estado de la red sin ninguna potencial manipulación o error. Por lo tanto, estos datos deben ser autenticados y deben reflejar la información el dispositivo de lectura y el destino (Cleveland, 2008). La arquitectura genérica de una red de comunicación que es capaz de cumplir con todas las características expuestas anteriormente debe de tener direccionalidad total de comunicación entre los dispositivos en las instalaciones a

medir, los sistemas de generación, el operador del sistema, otros contadores inteligentes, y otros componentes del sistema eléctrico. Los dispositivos en el sector de distribución eléctrica garantizan la adecuada transmisión de todas las consignas de control necesarias para la distribución de energía, la vigilancia y control de averías, la comunicación entre dispositivos y la coordinación de las operaciones entre los dispositivos en la red de comunicación. Un SM que pertenece a una instalación puede ser identificado por un código único asignado al mismo. En general, las identidades dadas a todos los componentes están garantizadas por técnicas criptográficas (Das, 2009). La comunicación tiene que apoyar el funcionamiento de la propia SG y del sistema incluso en la detección de cortes de energía y fallos en la distribución o en la automatización. Además, la red seleccionada y sus componentes deben de ser rentables y viables económicamente y deben ser compatibles con "la priorización del tráfico" que consiste en dar prioridad a la entrega de los datos en función de ciertas consignas (Gunther, 2008). Las TICs elegidas tienen que ser rentables, deben proporcionar buena gama de datos transmisibles, una buena seguridad y ancho de banda, controlar la calidad de la energía y tener el menor número posible de repeticiones. La tecnología Bluetooth puede ser una opción posible para la comunicación de señales de control y para transmitir el consumo de energía (Carbonmetrics, 2008). En el punto de vista de la aplicación de esta técnica, Koay et al. (Koay et al., 2003) propusieron un medidor de energía basada en Bluetooth que puede almacenar y transmitir los datos de consumo de energía de forma inalámbrica a una central base. El sistema PLC y el sistema Broadband Power Line (BPL) son una opción de comunicación que permiten integrar protocolos TCP/IP. El sistema PLC utiliza la propia infraestructura eléctrica como infraestructura de comunicación e integra otros sistemas como (Son, et al., 2010), RS-232/485, Wi-Fi, WiMAX y Ethernet con el protocolo para cargar los datos según la norma IEC DNP (Lee and Lai, 2009). La tecnología PLC es muy eficiente para la automatización de los datos en las aplicaciones de medición inteligente (Huczala et al., 2006).

El protocolo de red IP es otra opción prometedora para la comunicación debido a las ventajas sobre otras tecnologías (Bauer et al., 2009). Además, la tecnología TCP/IP también puede ser utilizada como una plataforma común para múltiples dispositivos de comunicación (Cisco, 2009). Además de las opciones anteriores, el Session Initiation Protocol (SIP) es un protocolo basado en texto de señalización que se utiliza para el control de sesiones de video y Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) y que proporciona un medio de comunicación robusta para las aplicaciones de redes inteligentes (Di Adamo, 2008). Esta funcionalidad podría ser aprovechada para la transmisión de sesiones docentes en formato de audio y vídeo en el laboratorio

(Mander et al., 2008). Existen otra serie de propuestas basadas en protocolos como una red Peer-to-Peer (P2P), ya que un SM que emplea la red P2P puede aumentar la gama de operaciones y se puede asociar a otros servicios con alto valor añadido tale como la gestión de instalaciones. Como la comunicación basada en P2P utiliza Internet, esto tendría la ventaja de un bajo coste del diseño de la red (Rusitschka et al., 2009). Otras tecnologías de comunicación basadas en el estándar 802.11.x (Han and Lim, 2010) se pueden utilizar para la transferencia de datos (Bennett and Highfill, 2008), (Kim et al., 2008). La tecnología GPRS puede ser un medio de comunicación con gran potencial para la transferencia de datos y señales de control de forma inalámbrica sobre largas distancias. Al contrario de otras tecnologías de la comunicación de red, sólo unas pocas características sobre el potencial que presenta el sistema GPRS se han analizado. El principal problema es la falta de herramientas para la detección de un fallo en la red, que supondría un importante problema en la implementación de la red GPRS en muchos lugares geográficos lejanos. Antes de implementar un sistema de comunicaciones basado en GPRS en un lugar específico, hay que analizar la disponibilidad y la calidad de la señal (Cuvelier and Sommereyns, 2009), (Hafner et al., 2006). De todas las posibilidades propuestas y disponibles las tecnologías GPRS y PLC son las únicas viables a nivel de parámetros económicos a día de hoy.

4.1.3. Estado de implementación de Smart Meters

Dadas las importantes ventajas y aplicaciones de estos sistemas se están implantando en gran escala en todo el mundo. Por ejemplo, Austin Energy, una de las mayores compañías de servicios eléctricos en EE.UU. con cerca de 400.000 clientes, ha comenzado el despliegue de SMs a unos 260.000 clientes residenciales en 2008 (Reuters, 2009). Centralia Energy, una compañía de Houston, ha desplegado contadores inteligentes a cerca de 2 millones de clientes en el año 2012 en el área de Houston-Galveston. En EE.UU. completar la implementación de medidores inteligentes requiere una inversión de alrededor de 50 billones de dolares. En América del Norte la tasa de penetración de los contadores inteligentes fue de alrededor del 6% en el año 2008 y se espera que alcance el 89% para el año 2012 (Vodjani, 2008). Para el año 2014, el despliegue de contadores inteligentes en todo el mundo se espera que llegue a alrededor de 212 millones de unidades. En Italia, Enel, la tercera compañía de suministro de energía en Europa, ha comenzado el despliegue de SMs a unos 27 millones de clientes, lo que es el proyecto más grande para despliegue de medidores inteligentes (Climatelab, 2011). En Canadá, el gobierno de Ontario tiene previsto implementar medidores inteligentes a cerca de 800.000 instalaciones incluidos consumidores residenciales y pequeñas empresas; el proyecto ya ha comenzado en el

año 2007 (CBC, 2009). En Corea, Korea Electric Power Corporation (KEPCO) ha comenzado a aplicar el sistema AMR para sus clientes industriales en el año 2000. Actualmente, estos medidores transmiten de forma automática la información de consumo de energía de aproximadamente 130.000 consumidores de alta tensión. Como consecuencia del uso de estos sistemas de medición inteligente, KEPCO ofrece servicios de valor añadido alrededor de 55.000 de sus clientes de baja tensión (Il-Kwon et al., 2009). En Australia, el gobierno ha encargado la instalación de SMs en 2,6 millones de consumidores de electricidad en Victoria. En 2007, el gobierno holandés ha propuesto una política que obligó a la instalación de SMs a 7 millones de consumidores residenciales en el año 2013. Más tarde, el gobierno se retractó de su política y dejó la decisión acerca de la instalación a los intereses de los consumidores debido a los problemas de seguridad y la influencia en la privacidad (NRC, 2008).

En España existen actuaciones piloto lideradas por las compañías distribuidoras de electricidad para la implantación de estos sistemas con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento y detectar oportunidades de mejora.

4.1.4. Sistemas de comunicación para integración del laboratorio remoto

Tal y como se ha expuesto y concluido a tenor del análisis de las diferentes tecnologías que posibilitan de forma efectiva la integración de sistemas de medida energética a distancia de instalaciones, las tecnologías GPRS y PLC son las que presentan un mayor desarrollo y una mayor factibilidad para ser implantadas tanto a nivel de condicionantes económicos como de posibilidades de integración en la red.

El sistema GPRS se encuentra desarrollado en la actualidad y es tecnológicamente maduro. Este desarrollo y madurez es principalmente debido a que su uso es mayoritario para comunicaciones de tipo móvil en dispositivos de telefonía, tablets, ordenadores portátiles y otros.

Esta tecnología permite la transmisión de información de un modo eficaz y se ha utilizado como sistema prioritario junto con la transmisión de información vía IP en la propuesta de laboratorio realizada en esta tesis doctoral. Pese a que estas tecnologías proporcionan un desarrollo con un funcionamiento adecuado y que seguirá evolucionando en los próximos años, el objetivo buscado es presentar la tecnología que tendrá una mayor evolución en los próximos años y que servirá para transferir información de forma masiva en SGs, la tecnología PLC.

De este modo el laboratorio remoto presentado presenta una funcionalidad real en este mismo momento pero además presenta un modelo que se puede adaptar a las nuevas tecnologías que se desarrollarán e implantarán de forma masiva en los próximos años y por lo tanto es una solución de presente y futuro.

Cualquier otra tecnología de comunicación tendrá, del mismo modo, la capacidad total y absoluta de ser utilizada dentro de la concepción del sistema de laboratorio remoto dado que como se ha venido estudiando y demostrando el laboratorio no presenta una dependencia de ningún tipo de sistema de comunicación para poder funcionar: es adaptable a cualquier desarrollo, ampliando de este modo su funcionalidad y posibilidades de crecimiento.

Se analiza en detalle en los siguientes apartados la capacidad de la tecnología PLC como elemento integrador del laboratorio remoto en el nuevo sistema eléctrico, sus puntos fuertes, sus carencias, y las características especiales que hacen este sistema idóneo para el fin buscado.

4.2. TECNOLOGÍA PLC PARA INTEGRACIÓN DEL LABORATORIO REMOTO EN SMART GRIDS

La tecnología PLC hace posible la transmisión de voz, datos y video a través de una infraestructura ya desplegada como son las líneas eléctricas. Permite convertir los puntos de conexión al sistema eléctrico convencional en conexiones a los servicios de telecomunicaciones, destacando el uso de internet de alta velocidad. La utilización de la tecnología PLC posibilita la integración de todos los servicios que oferta Internet funcionando a alta velocidad, como son: la telefonía IP10 (telefonía integrada con datos), mensajería, videoconferencia, televisión interactiva, radio y música, juegos en red, domótica, creación de redes privadas etc. Permite maximizar el rendimiento de dispositivos conectados a la red, de ahí que a veces sea conocida como Broadband PLC (BPL). Esta tecnología constituye una alternativa real a las actuales tecnologías de acceso de banda ancha.

El PLC se empezó a considerar como tecnología de banda ancha al ofrecer una velocidad igual o superior a 2 Mbps. Considerando esta velocidad es posible ofrecer servicios multimedia a un mayor número de usuarios de Internet, especialmente en áreas distantes, principal vector de desarrollo de esta tecnología. Esta aplicación es la que ha motivado los desarrollos y esfuerzos comerciales que se vienen desarrollando en la actualidad pero presenta una oportunidad única para utilizar la tecnología como

sistema de transmisión de datos desde los puntos donde se quiere medir hasta los servidores del laboratorio remoto. La tecnología PLC se denomina en forma diferente dependiendo del país y el organismo que la estudie: PLC/PLT (Power Line Communications/Power Line Transmisión) según ETSI (European Telecommunications Standard Institute) o DPL/BPL (Digital Power Line/Broadband over Powerline) según Federal Communications Commission (FCC) en los Estados Unidos de Norteamérica (Bauer et al., 2009).

4.2.1. Funcionamiento de la red PLC

La red eléctrica no es homogénea, por lo que hay que diferenciar los tramos que la conforman. Desde la central eléctrica a la red de transporte de alta tensión se manejan voltajes de 138 kV a 400 kV. Este tramo no es relevante para la tecnología PLC. La red de media tensión transporta energía eléctrica utilizando voltajes que normalmente oscilan entre 6,3 kV y 40 kV y da acceso a la energía eléctrica a edificios, industrias, y usos terciarios. En esta parte del sistema eléctrico la tecnología PLC se presenta como un sistema que permite la conexión de centros de transformación o consumidores finales en estos niveles de tensión al laboratorio remoto. En niveles de tensión inferiores, correspondientes a la red de baja tensión, se encuentra la última etapa en la distribución eléctrica y que corresponde a la parte de la red en la que se conectan un mayor número de instalaciones receptoras que son susceptibles de estudio en el laboratorio de eficiencia energética. En este nivel de tensión se conectan un gran número de instalaciones de edificación y PYMEs, principales objetivos de los planes de mejora de la eficiencia energética descritos en anteriores capítulos.

Con el acondicionamiento adecuado de la infraestructura eléctrica se pueden transmitir señales de baja frecuencia y otras por encima de la banda de 1 MHz sin que se vea afectado el rendimiento eléctrico. Las señales de baja frecuencia (50 Hz en el caso de Europa) son las encargadas de la transmisión de la energía mientras que las señales de más alta frecuencia se utilizan para la transmisión de datos, circulando ambas simultáneamente a través del conductor.

El lugar de integración del sistema eléctrico y de comunicación se da en el transformador o en la subestación de distribución. Aquí se produce el acoplamiento de la red eléctrica con equipos complementarios que en un extremo se enlazan a una conexión de alta velocidad proporcionada por otro canal de transmisión de información que puede ser un sistema de acceso a Internet, fibra óptica, un sistema GPRS o cualquier otra tecnología y en el otro extremo al control de la red PLC.

4.2.1.1. Transmisión conjunta de energía e información. Frecuencias de trabajo

La transmisión paralela de energía y datos usando el mismo medio y en forma simultánea se hace posible debido a que las dos señales son diferentes; mientras la energía eléctrica utiliza corriente alterna a 50 Hz los datos se transmiten a altas frecuencias en el rango de 1 MHz a 30 MHz.

La tecnología PLC emplea una red conocida como High Frequency Conditioned Power Network (HFPCN) o “red de energía condicionada por alta frecuencia” para transmitir simultáneamente energía e información. Para poder llevar a cabo de forma correcta esta transmisión se utilizan unidades acondicionadoras que se encargan del filtrado y separación de ambas señales. Estas unidades separan la electricidad, que alimenta a los equipos consumidores, de las señales de alta frecuencia, que van a un módulo o unidad de servicio donde se reconvierten en canales de datos ya sea vídeo, datos, voz, etc.

Los sistemas PLC ocupan un espectro de alta frecuencia conocido habitualmente por su nomenclatura inglesa, High Frequency (HF) y este rango está entre 1,6 MHz a 30 MHz. Según la recomendación ETSI TS 101 867 (V1.1.1 2000-11), que regula los sistemas PLC de primera generación, se asignan los siguientes rangos:

- Sistemas PLC de acceso ocupan la banda de frecuencia entre 1,6 MHz a 10 MHz.
- Sistemas PLC domésticos ocupan la banda de frecuencia entre 10 MHz a 30 MHz.

La capacidad de transmisión del sistema PLC varía en función del fabricante, de la tecnología empleada y del estado de las líneas eléctricas, pero suele establecerse en los 45 Mbps (27 Mbps en el sentido red de datos – usuario “Downstream”, y 18 Mbps en el sentido usuario-red de datos “Upstream”). Este nivel de velocidad es mucho más elevado de lo necesario para plantear un uso para transmisión de información en modo de paquetes temporales que se almacenarán y procesarán en el laboratorio remoto pero permite también el uso para transmisión de información en tiempo real. La velocidad que actualmente puede alcanzar la tecnología PLC con equipos comerciales oscila en un rango de 2 Mbps y 10 Mbps. Este valor de ancho de banda es suficiente para dar servicio de Internet, telefonía IP, transmitir voz, o servicios

multimedia y por lo tanto es totalmente adecuado para el volumen de información a transmitir en el laboratorio remoto.

El ancho de banda disponible se debe compartir entre todos los usuarios conectados a la misma línea de distribución eléctrica de manera que si se tienen 10 Mbps en el centro de transformación de distribución y se conectan unos 50 usuarios a la línea mediante las unidades de usuario, se reduciría a 200 Kbps el ancho de banda para cada usuario. Sin embargo los equipos de segunda generación que se han desarrollado elevan el límite por encima de los 100 Mbps, lo que permite al PLC competir con otros sistemas de comunicaciones de banda ancha (Bauer et al., 2009).

4.2.1.2. Sistemas de modulación empleados

Para optimizar la transmisión de datos sobre la red eléctrica y conseguir máximas capacidades con el mínimo consumo de ancho de banda se han planteado varias técnicas de modulación para PLC, las cuales deben ser robustas y utilizar una correcta asignación de frecuencias para evitar la interferencia externa.

En PLC las transmisiones tienen que atravesar las líneas de fuerza lo que provoca múltiples e impredecibles formas de interferencia, esto lo convierte en un medio poco confiable para una excelente comunicación. Los tipos de modulación más favorables para PLC son (Henry, 2005):

- **DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation):** modulación de espectro ensanchado, consiste en distribuir la potencia de la señal a lo largo de un amplio espectro de frecuencias. Opera con baja densidad de potencia espectral (PSD), lo que resulta beneficioso respecto a la compatibilidad electromagnética, teniendo un nivel de radiación débil sobre todo el espectro utilizado. Además posee una gran inmunidad a interferencias, distorsiones y desvanecimientos del canal. El inconveniente con esta modulación es que para distribuir la potencia hace uso de un gran ancho de banda reduciendo la velocidad de los datos. Otro problema consiste en que al ser adaptadas las señales al canal de transmisión PLC, se presentan reflexiones debido a los múltiples caminos que puede seguir la señal.
- **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying):** es una técnica de modulación binaria simple en banda estrecha que resulta de hacer una manipulación espectral a MSK (Minimum Shift Keying) sin perder la característica constante de la envolvente. Dicha manipulación consiste en aplicar un prefiltrado

gaussiano, reduciendo de esta forma los lóbulos secundarios que aparecen en el espectro de la señal. Con este prefiltrado previo a la modulación se logra optimizar el uso del ancho de banda.

- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex):** Es un sistema adaptativo que consiste en modular un gran número de portadoras de banda estrecha distribuida. Soluciona problemas de reflexiones debido a las diferentes rutas que puede seguir la señal y cambios de impedancia. Maneja el ruido de manera especial permitiendo además obtener alta eficiencia espectral.

En la Tabla 33 se muestran las principales técnicas de modulación con sus características para sistemas PLC.

Tabla 33. Sistemas de modulación PLC

Técnica de modulación	Eficiencia Espectral	Máxima tasa de datos	Robustez contra distorsión	Robustez contra ruido impulsivo	Flexibilidad y aplicaciones futuras	Compatibilidad electromagnética
Técnica Spread Spectrum	< 0,1 bits/s/Hz	0,5	Malo	Razonable	Muy malo	Muy bueno
Modulación de una sola onda portadora en banda ancha	1-2 bits/s/Hz	2	Bueno	Bueno	Razonable	Malo
Modulación de ondas multiportadoras en banda ancha	1-4 bits/s/Hz	3	Bueno	Razonable	Razonable	Razonable
OFDM	>>1 bits/s/Hz	>10	Muy Bueno	Razonable	Muy Bueno	Bueno

El sistema de modulación más extendido para PLC es OFDM debido a que utiliza una codificación adaptativa que es capaz de reconocer la calidad del canal en un momento dado, con el fin de monitorear y extraer información estadística que se utiliza para mejorar la relación de velocidad y confiabilidad en la red. Esta modulación actúa mejor frente a las interferencias que se presentan en la estructura de las redes eléctricas. Es necesario utilizar OFDM para el funcionamiento del PLC, ya que al basar su comunicación en un medio de transmisión lleno de ruidos e interferencias la señal de datos se ve atenuada conforme realiza su recorrido, por lo que es necesario implementar una tecnología fiable capaz de asegurar una buena transmisión independientemente de las variaciones del medio.

El sistema OFDM tiene su analogía con la multiplexación FDM, donde las múltiples fuentes ocupan un mismo espectro pero con OFDM cada fuente se convierte a una banda de frecuencia diferente; es decir, utilizando portadoras de diferente frecuencia que se transmiten simultáneamente por un solo medio de transmisión. OFDM distribuye los datos sobre un número grande de portadoras que están espaciadas en frecuencias determinadas (IEEE, 1999). Este espacio proporciona la ortogonalidad que impide al demodulador ver frecuencias que no sean las propias. Así todos los canales de banda estrecha se pueden transmitir en un sistema de transmisión de banda ancha, lo cual se logra asignando a cada canal una portadora diferente.

Con comunicaciones de gran ancho de banda se tiene que los canales para la transmisión son susceptibles por razones de propagación de la señal, por lo que al dividir el ancho de banda total en canales paralelos más angostos y cada uno en diferente frecuencia se reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en la subportadora. Si además, estas subportadoras poseen un espaciamiento que les proporciona ortogonalidad en frecuencia, se tendrá dos portadoras en la misma frecuencia sin que éstas se traslapen o interfieran entre ellas, con ello se reduce el ancho de banda total requerido en el canal, logrando mayor eficiencia espectral y una menor distorsión.

El número de portadoras y la distribución en el espectro de frecuencia depende de cada diseñador tecnológico de equipos PLC destacando los desarrollos comerciales mostrados en la Tabla 34 .

Tabla 34. Diferentes sistemas PLC

Sistema	Número de portadoras	Frecuencias en MHz	Velocidad transmisión
HOMEPLUG	84	4,5 a 21	Máxima 14 Efectiva 7
DS2	1280 con 0, 2, 4, 6 u 8 bits de información por portadora	Hasta 30	45 y 200

OFDM es un sistema que resulta eficiente y flexible para trabajar en un medio como la red eléctrica, ya que el rango espectral queda dividido en ranuras (slots), cuyo ajuste permite que los equipos se adapten dinámicamente a las condiciones del medio, potenciando aquellas frecuencias donde el ruido es menor y anulando el uso de frecuencias donde el ruido es elevado. En consecuencia el sistema OFDM puede usar o dejar de usar cualquier subcanal de frecuencia con el fin de mantener una óptima tasa de error.

4.2.1.3. Funcionamiento del sistema OFDM

OFDM es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase. Emplea N portadoras, por lo que se requiere, por lo menos, N muestras complejas en tiempo discreto para representar un símbolo OFDM. La forma de onda para OFDM se genera a partir de la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) o Transformada Inversa Rápida de Fourier, a cuya entrada se introducen los símbolos que han de modular la portadora. La duración de cada símbolo es inversamente proporcional al espacio que existe entre la subportadora en la que se incluye ese símbolo y las subportadoras adyacentes. En el receptor, la recuperación de la información se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier. Cada señal viaja dentro de su único rango de frecuencia; es decir, el portador que se modula contiene datos que pueden ser de texto, voz y video, etc. posibilitando la transmisión de múltiple información de utilidad para el laboratorio remoto.

El sistema OFDM evita el empleo de filtros, a causa de la ortogonalidad de la señal. Para preservar la ortogonalidad en OFDM y combatir la presencia de ecos causados por las reflexiones en la transmisión se introduce un intervalo de guarda. El funcionamiento sin interferencias está basado en el principio de ortogonalidad, que implica que señales son ortogonales en un intervalo (t_1, t_2) cuando cumplen la condición de (1):

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)g(t)dt = 0 \quad (1)$$

Si esto se cumple, es posible hacer que utilicen simultáneamente el mismo ancho de banda sin interferirse entre sí. En OFDM, la ortogonalidad es necesaria para que los espectros de las sucesivas portadoras activas no se interfieran entre si debido a la superposición de sus varios espectros infinitos. Mediante el principio de ortogonalidad se asegura que cuando el espectro de una señal asociada con una portadora se encuentra en un máximo, el espectro de la portadora adyacente pasa por cero y no se interfiere con la portadora vecina. Las subportadoras que cumplen con la ortogonalidad pueden ser distinguidas una de la otra en el receptor.

El sistema de modulación OFDM brinda múltiples ventajas y es el que ofrece mayor robustez frente a las características de ruido del medio eléctrico que emplea PLC. Esta tecnología muestra por lo tanto un comportamiento muy adecuado para ser

empleada como tecnología de referencia en el sistema PLC de comunicación entre las diferentes instalaciones y el laboratorio remoto. Entre los beneficios que aporta esta tecnología merece la pena destacar:

- Es resistente a la interferencia de radiofrecuencia.
- Excelente mitigación de los efectos de dispersión en el tiempo.
- Minimización de los efectos de interferencias dentro de banda estrecha.
- Alta eficiencia espectral.
- Escalable para altas tasa de datos.
- Flexible y adaptable (las subportadoras de banda estrecha pueden ser moduladas usando varios formatos de modulación, con posibles anchos de banda y tasa de datos adaptables de acuerdo al número de bits presente en cada portadora).
- No requiere complejos canales de ecualización.
- Adapta el canal a las condiciones de transmisión a través del monitoreo continuo mediante las configuraciones del canal para obtener buena velocidad y fiabilidad.
- El alto número de portadoras permite una sincronización robusta y sencilla.
- Tiene un mejor comportamiento frente al ruido sea selectivo o impulsivo.
- Todos los rangos del espectro que están disponibles son muy usados y no existe interferencia excepto para el ruido de conexión a tierra aunque generalmente no afecta debido a que suele ser muy débil comparado a la potencia de transmisión.
- Este tipo de modulación es la que mejor se adapta a las condiciones de las redes eléctricas: tiene un comportamiento excepcional ante interferencias con otras aplicaciones eléctricas o servicios de radio. El espaciamiento entre portadoras confiere ortogonalidad para evitar que las frecuencias se traslapen y los subcanales están solapados, así se consigue un eficiente uso del espectro ahorrando ancho de banda.

- En condiciones donde el nivel de ruido es bajo, la señal transmite con mayor eficiencia y se envían paquetes con mayor cantidad de bits (máximo 8 bits por portadora por cada uno de los envíos). Conforme aumenta la distancia de transmisión se atenúan más las señales por lo que la calidad del canal baja y se empieza a reducir la cantidad de bits que se transmiten en cada uno de los tonos portadores. Esto optimiza la transmisión, es adaptable a las condiciones de la red por lo que puede utilizar mas bits por subcanal cuando la relación señal a ruido (SNR) así lo requiera e incluso se podría adaptar la potencia de transmisión de cada subcanal. Las tasas de datos por subportadoras se adaptan dependiendo del SNR detectado. Esta característica da una excepcional adaptabilidad a las condiciones del canal.
- Puede operar con anchos de banda 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, transmitiendo entre 2 MHz a 34 MHz.
- La sincronización es más robusta y simple.
- Tasa de datos de hasta 45 Mbps.
- Eficiencia de modulación de hasta 7,25 bps/Hz.

La modulación OFDM es un sistema que analiza el canal por el que se va a transmitir la señal evaluando cuál es el número máximo de puntos que se pueden crear para cada uno de los rangos de frecuencia con el cual se divide la señal. De este modo maximiza la velocidad de transmisión y minimiza los errores. Esta tecnología se adapta como desarrollo de futuro que garantizará un elevado potencial de transmisión de flujo de información al laboratorio remoto de eficiencia energética y se considera por ello óptimo, quedando probado que los futuros desarrollos en tecnologías PLC elevarán de forma notable el potencial del laboratorio y lo dotarán de capacidades crecientes.

4.2.2. Sistemas PLC e integración con modelos OSI para el desarrollo del laboratorio remoto

Para la descripción de la operación de los sistemas de telecomunicaciones modernos generalmente se utiliza el modelo de referencia Open Systems Interconnection (OSI) promovido por la International Standardization Organization (ISO) para definir la forma en que se comunican los sistemas abiertos de telecomunicaciones, es decir, define cómo los sistemas se comunican con otros

sistemas. El modelo de referencia consiste en 7 capas. Estas capas se visualizan generalmente como bloques apilados, por lo que también se le conoce como OSI Protocol Stack. El modelo de capas se presenta de forma gráfica en la Fig. 25.



Fig. 25. Modelo de referencia OSI e integración del laboratorio remoto

El sistema PLC trabaja principalmente en las capas 1 y 2, es decir en la capa física y en la capa de enlace de datos, resultando por lo tanto un sistema novedoso para la transmisión de información a la infraestructura de ensayos que constituye el propio laboratorio remoto. Estas tecnologías y su desarrollo no constituyen una línea de investigación relacionada con el laboratorio sino que son avances tecnológicos que redundarán de forma indirecta en un aumento de las capacidades del laboratorio remoto y mejorarán su capacidad docente y su potencial.

4.2.2.1. Capacidad del sistema PLC

De acuerdo con la Ley de Shannon la capacidad de un canal con ruido, es decir la cantidad máxima de información en bps que es posible transferir resulta de (2):

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2)$$

Siendo

- C =Velocidad máxima de transmisión de datos en bps.
- B =Ancho de banda del canal.
- S/N =Relación señal a ruido del mismo.

Esta fórmula no es aplicable directamente a un canal de PLC porque el parámetro SNR no es constante con el ancho de banda B , ya que puede variar sustancialmente. Sin embargo en la práctica la densidad de potencia de señal transmitida $S_{rr}(f)$ y la densidad de potencia de ruido $S_{nn}(f)$ son dependientes de la frecuencia.

Dentro de un cierto rango se puede aplicar la fórmula mostrada en (3):

$$C = \int_{f_u}^{f_0} B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \text{ con } B = f_0 - f_u \quad (3)$$

Para obtener la expresión anterior se debe conocer el espectro de densidad de potencia de la señal transmitida $S_{rr}(f)$ la cual es modificada por el comportamiento del canal. El ancho de banda disponible de un medio de transmisión representa la fuente más importante para una tasa de transmisión de datos alta. El ancho de banda en la práctica se encuentra más o menos fragmentado, por lo que se necesita esquemas de modulación para aprovechar el espectro tanto como sea posible.

Además de la reducción del ancho de banda por regulación, éste también es restringido por la atenuación. La capacidad del canal generalmente decrece con la distancia debido a la característica paso bajo de las líneas de potencia.

Los esquemas de modulación difieren mucho en su habilidad de explotar la capacidad del canal. Para un canal excelente con capacidades teóricas en el rango de los 250 Mbps se puede alcanzar tasas de datos reales de 100 Mbps. Aún para canales clasificados como muy malos, con distancias de hasta 300 m, se pueden alcanzar tasas de 5 Mbps. La Tabla 35 muestra las capacidades teóricas estimadas en el tramo de última milla para un canal PLC. Aquí se muestra la diferencia entre la capacidad

teórica y la realizable en pruebas piloto y se determina que aún en el peor caso se logra conseguir una capacidad de canal aceptable de 5 Mbps.

Tabla 35. Estimación de la capacidad de canal PLC en la red de acceso

	Mejor caso	Peor caso
Teórica	84	4,5 a 21
Realizable	1280 con 0, 2, 4, 6 u 8 bits de información por portadora	Hasta 30

4.2.3. Arquitectura de la red PLC

La tecnología PLC utiliza la red de distribución de media y baja tensión como medio de transmisión, accediendo así al bucle local del abonado (viviendas o empresas). Mediante equipos PLC se enlaza las redes de MT/BT a una red troncal de datos o Backbone; esto permite la interacción de redes de datos externas con las redes eléctricas hasta llegar a los usuarios como una red de acceso de gran alcance. Del lado de los usuarios en la red de baja tensión estos se conectan con equipos especiales de que les permitirán poder acceder a la información que viaja a través de la red eléctrica.

La topología del sistema PLC es realmente la topología de la red de provisión de energía eléctrica pero usada como medio de transmisión, y dependerá de algunos factores como son:

- **Ubicación:** el campo que podría abarcar un sistema PLC de comunicación para toma de datos del laboratorio remoto depende del tipo de sector, ya sea comercial, residencial o industrial, y de la ubicación del o de los servidores del laboratorio remoto. Esto tendrá relación con el tipo de usuario y sus requerimientos.
- **Densidad de uso:** se refiere al número de usuarios de la red. La cantidad de usuarios será de baja densidad en por ejemplo en zonas residenciales con instalaciones puntuales y de muy alta densidad en zonas o instalaciones que se concentran en una localización puntual.
- **Longitud:** distancia entre usuario y el punto de toma de datos.

La topología de la red eléctrica es de tipo árbol y una red PLC también se estructura de esa forma, independientemente de que los equipos PLC se ubiquen en lugares centrales, en las cercanías del usuario o en cualquier lugar de la red. La consideración que se debe tomar en cuenta es la distancia entre los equipos PLC

centrales y los equipos de usuario, para evitar la instalación de elementos extras que incrementan los costos de la red. El laboratorio remoto se integrará como unos equipos más de medida dentro de todos los existentes y por lo tanto no afectará en modo alguno al diseño y concepción de la red.

En la Fig. 26 se observa la infraestructura de un sistema PLC y en la Fig. 28 la particularización del sistema PLC para el laboratorio remoto. El sistema cuenta con un nodo de enlace troncal denominado unidad de acondicionamiento (UA), desde él se ramifican los demás nodos que serían las unidades de usuario (UU) si la distancia es corta o unidades repetidoras (UR) a distancias mayores de 300 m para la red de MT y de 150 m para la red de BT. La comunicación entre las ua y las uu o las ur se establece mediante una configuración full-duplex punto a multipunto.

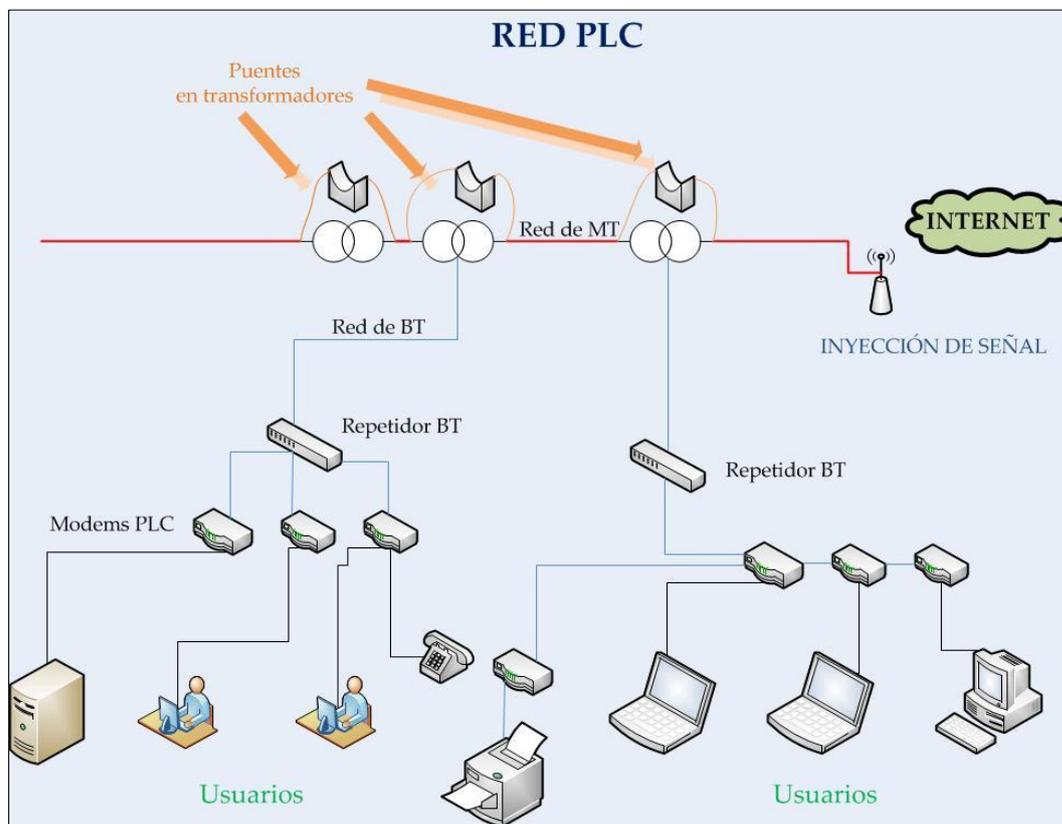


Fig. 26. Infraestructura PLC

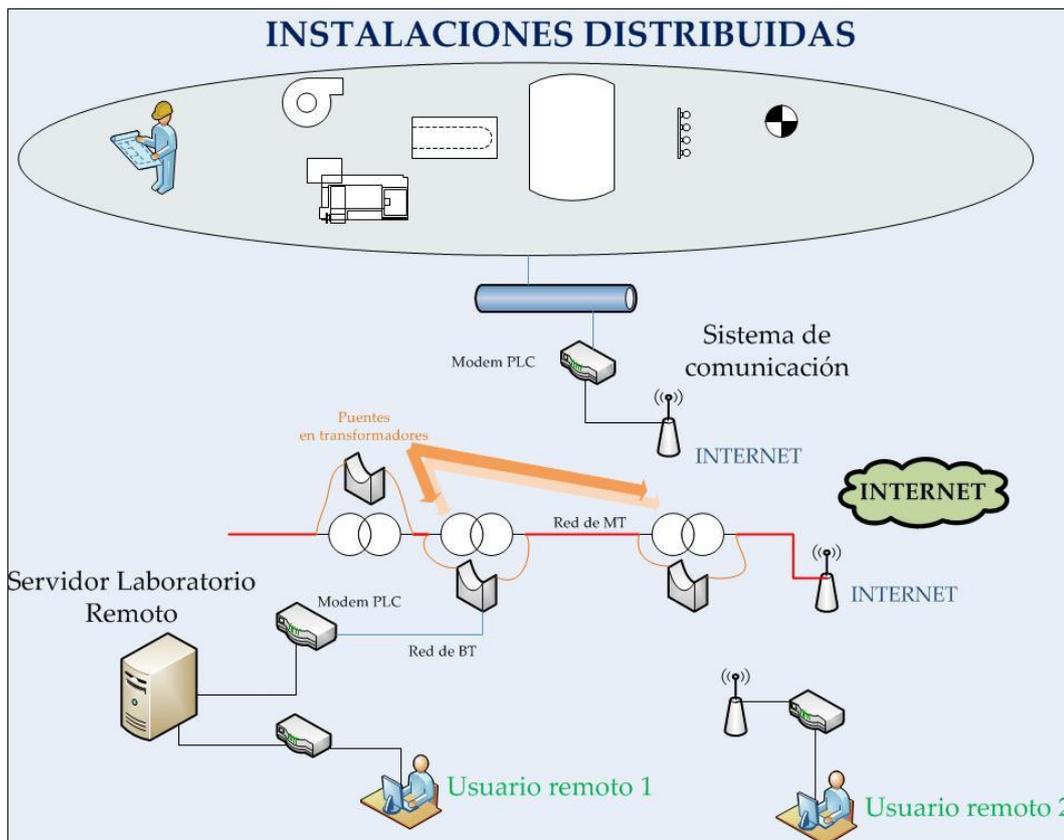


Fig. 27. Laboratorio remoto integrado en red PLC

En la Tabla 36 se indica la interacción que se efectúa entre los equipos conectados a la red PLC, y el nivel jerárquico que presentan.

Tabla 36. Nivel jerárquico y comunicación entre dispositivos en la red PLC

		Fin		
		UA	UR	UU
Inicio	UA	NO	SI	SI
	UR	SI	SI	SI
	UU	SI	SI	NO

En cuanto a la topología lógica de la red, que se refiere a cómo la información viaja por los medios del cableado eléctrico, en el sistema PLC se consideran dos tipos de transmisiones:

- La información que viaja de la estación de datos a los usuarios.
- La información que viaja de los usuarios a la estación de datos.

Cada nodo supervisa la actividad de la línea. La información que va de la estación de datos es detectada por todos los nodos aunque solamente es aceptada por el nodo

o los nodos hacia los que va dirigido. Como una red en bus se basa en una "autopista" de datos común, un nodo averiado sencillamente deja de comunicarse; esto no interrumpe la operación. Esta topología y el funcionamiento intrínseco del sistema garantizan una total operatividad del laboratorio remoto en el caso de que determinados puntos de medida puedan sufrir algún tipo de daño, asegura la escalabilidad y proporciona una elevada confiabilidad.

4.2.4. Sistemas PLC para el laboratorio remoto

Dependiendo del segmento de la red eléctrica en que se aplique la tecnología PLC se pueden crear diferentes sistemas o redes PLC.

4.2.4.1. Sistema de distribución

Estos dispositivos sirven para conectar los equipos PLC instalados en diferentes subestaciones transformadoras de la red eléctrica de distribución. Esta interconexión se puede realizar mediante conexiones PLC de media tensión, enlaces de fibra óptica u otras tecnologías como xDSL o LMDS (enlaces de micro-ondas). Este tipo de dispositivo será necesario en función de las instalaciones que se incorporen a la red integradora del laboratorio remoto.

Una red de distribución PLC utiliza las líneas de MT que trabajan en el rango aproximado de 25 kV a 66 kV con salida en el secundario en un rango aproximado de 15 kV a 20 kV y esta señal es llevada a los centros de transformación de distribución con salida en baja tensión, desde donde se distribuye la señal para uso doméstico, comercial e industrial. En este punto se enlazarían las instalaciones que se engloben en la infraestructura de ensayos del laboratorio remoto. En este sistema las UAs interconectan entre si, Fig. 28.

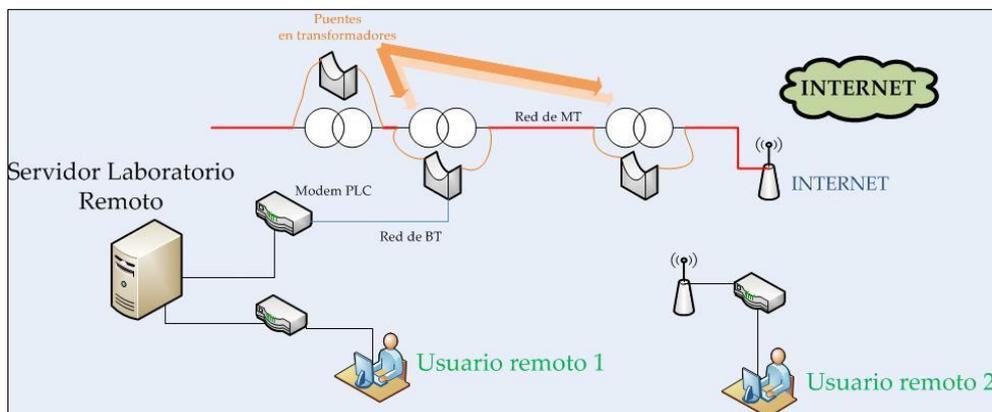


Fig. 28. Conexión laboratorio remoto a red PLC

El sistema PLC de Media Tensión tiene una velocidad aproximada de 135 Mbps. La tecnología utilizada en los equipos de media tensión es la misma que los equipos de baja tensión pero adaptados para mejorar su rendimiento, fiabilidad y latencia (retardo). Esto es adecuado en lugares en los que a causa de una baja densidad de instalaciones o clientes no es rentable desplegar toda una red de distribución. El uso de la tecnología PLC representa un importante ahorro ya que implica no hacer una inversión en la instalación de nueva infraestructuras ofreciendo además un rápido despliegue. La desventaja es que no es una tecnología masiva y presenta problemas de interferencia y calidad. La red de distribución PLC no tiene problemas técnicos pero sólo se utiliza para transportar datos en distancias en las que este sistema sea viable y rentable. La implementación total de esta tecnología no es viable ya que el problema radica en las distancias a cubrir porque se incurriría en la colocación de un gran número de unidades repetidoras que encarecerían esta red.

El tramo final de acceso al sistema utiliza el tendido eléctrico de baja tensión y comprende desde el transformador de distribución hasta el contador de energía eléctrica. Un equipo de cabecera estándar puede servir aproximadamente a unos 50 usuarios ofreciéndoles un espectro cercano a los 20 MHz en el caso de clientes próximos, o entre 1 MHz y 10 MHz para clientes lejanos. El bucle local es el mismo cable de la acometida eléctrica de la instalación. Para la medición de parámetros energéticos en el interior del edificio se pueden utilizar todo tipo de tecnologías existentes, tal y como se viene enumerando en la presente tesis (Wi-Fi, radio, IP, par trenzado...) u optar por un sistema interior de tipo PLC que comprendería el tramo que va desde el contador de energía hasta los puntos de consumo interior del edificio. Se puede utilizar la red eléctrica interior del edificio permitiendo comunicaciones internas y la creación de redes de áreas locales. Este segmento de distribución presenta características similares a los del sistema PLC de acceso, pero diferenciadas por las dimensiones: la distancia a cubrir es menor, el número de ramas también es menor y más corto. En este tramo se utiliza el rango de frecuencia de 13 MHz a 30 MHz debido a que es más susceptible a la distancia. Permite velocidades de transmisión de 2 Mbps compartido entre todos los equipos que acceden a la red.

Un antecedente del uso de las redes eléctricas para redes PLC doméstico es para la transmisión de datos usando el protocolo X-10, utilizado en muchas aplicaciones de domótica. Este sistema se utiliza de forma habitual para realizar instalaciones domóticas no muy complejas que proporcionan un ancho de banda de hasta 85 Mbps según el equipo elegido en las redes PLC Domésticas.

4.2.4.2. Gestión de la red

La administración de la red juega un rol vital ya que se debe garantizar la mejor utilización del medio de transmisión compartido y a la vez proveer una calidad de servicio satisfactoria. Los sistemas PLC presentan normalmente una interfaz de gestión que permite el monitoreo del estado de la red para recoger las estadísticas de datos, realizar diagnósticos, modificar la configuración y llevar a cabo actualizaciones. Estos componentes soportan otras capacidades como la prioridad de tráfico, la asignación de ancho de banda, la calidad de servicio u otros parámetros.

El propósito del monitoreo de la red PLC es medir la variación de la respuesta del canal a través del tiempo. Las características de un canal de PLC varían con el tiempo, por tanto el canal no es constante, lo que afecta el rendimiento de la transmisión. Este efecto significa que el equipo PLC requiere tener un mecanismo para adaptar sus parámetros a las características reales de ese vínculo a fin de optimizar la transmisión de información entre los dos puntos del enlace.

A través de una herramienta de software de interoperabilidad se puede configurar el equipamiento, administrar la red y realizar el mantenimiento remoto de toda la red PLC. Este sistema de gestión centralizada de redes permite asegurar:

- **Interoperabilidad** (tanto a nivel de dispositivos como del sistema o servicio) y mayor flexibilidad y la funcionalidad del sistema.
- Una **plataforma robusta** que permita la instalación, configuración, vigilancia y el control de las redes eléctricas que llevan las señales de datos.
- Perfecta **integración** con las redes IP.
- Verdadera **conectividad** de extremo a extremo entre personas y dispositivos usando las redes eléctricas.
- Infraestructura y herramientas de apoyo a la gestión.

Tanto las UAs como las UUs poseen un equipamiento que contiene filtros para las señales de electricidad y de datos, lo que facilita el acoplamiento entre los clientes y la subestación eléctrica. Este elemento recibe la señal proveniente de la red eléctrica, sea de MT o BT, la cual se introduce en un filtro pasa-bajo que permite pasar señales de baja frecuencia donde viajan las señales de energía eléctrica, enviándolas al Puerto de Distribución Eléctrica (PDE) para su distribución, cancelando la señal de alta

frecuencia. Otro Filtro Pasa-Alto extrae la señal de alta frecuencia donde viajan los datos y cancela las señales de baja frecuencia. Este filtro libera los datos a través del puerto de distribución de comunicaciones (PDC) mediante interfaz Ethernet, USB, Wireless 802.11b u otra que el equipo PLC posea, facilitando el tráfico bidireccional entre el cliente y la red. El filtro pasa bajos también sirve para atenuar los ruidos provocados por las aplicaciones eléctricas, ya que si se dejaran pasar estos ruidos se provocaría distorsiones significativas en la red, Fig. 29.

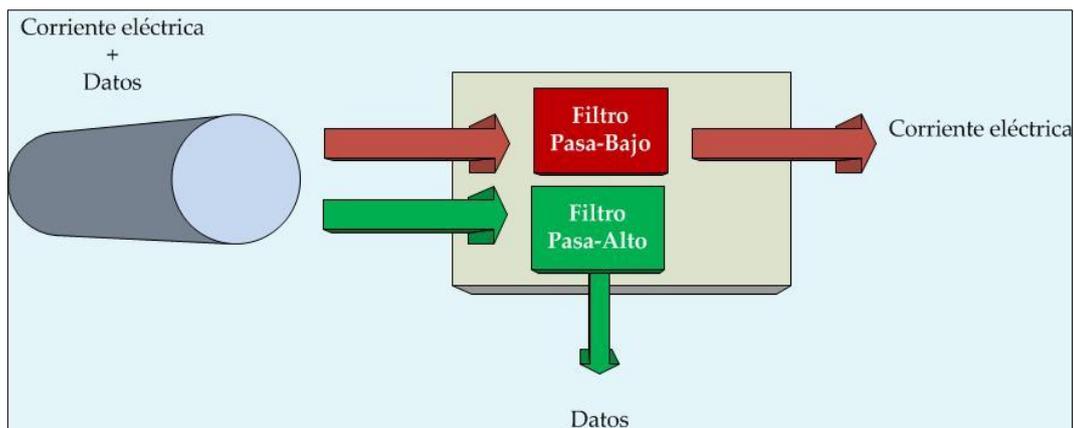


Fig. 29. Filtros para separación de señales

4.2.4.3. Acoplamiento de la red

Las unidades de acoplamiento son elementos que permiten físicamente adaptar e inyectar la señal digital PLC a la red eléctrica de media o baja tensión en niveles de hasta 24 kV. Los circuitos de acoplamiento deben ser cuidadosamente diseñados para así entregar la señal específica de transmisión con el apropiado ancho de banda y el nivel de seguridad requerido. Los transformadores de distribución atenúan significativamente la mayoría del espectro de RF utilizado por el sistema PLC ya que actúa como circuito abierto. Una solución es crear un camino para el paso de la señal de alta frecuencia en la que viajen los datos, este camino alternativo se denomina bypass. Es fundamental que este camino se limite sólo a la señal PLC y no a la frecuencia de transporte de electricidad. Las ventajas del bypass es su bajo coste, facilidad de instalación, mantenimiento y que no disminuye la fiabilidad eléctrica. El bypass está compuesto de un acoplador inductivo de MT, una UA y un acoplador de BT. El acoplador de BT puede ser inductivo o capacitivo pero es preferible la instalación de soluciones inductivas por comodidad. Existen dos métodos de acoplamiento: acoplamiento capacitivo paralelo a la red eléctrica o acoplamiento inductivo mediante el uso de un núcleo magnético

A. Acoplamiento de tipo capacitivo

Este tipo de acoplamiento inyecta la señal en las líneas eléctricas por contacto directo, permitiendo el acoplamiento mediante tensión a través del núcleo. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda optimizando la adaptación de impedancias entre la línea de media ó baja tensión y el equipo de comunicaciones PLC. Este tipo de acoplamiento es muy utilizado para líneas aéreas y en instalaciones interiores. Presenta una mínima atenuación de la señal, son de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, y se conectan entre fase y neutro.

B. Acoplamiento inductivo

Los sistemas de acoplamiento inductivo inyectan la señal sin contacto directo, mediante la inducción de un campo magnético. Permite acoplarse a diversos niveles de corriente (50 A-150 A) sin necesidad de intervenir en el circuito, no interrumpiendo así el servicio del suministro de energía eléctrica. Mediante el acoplador inductivo se permite que la señal PLC no se pierda por la presencia de transformadores en redes de MT a BT.

4.2.5. Limitaciones del sistema PLC

Es necesario considerar que las redes eléctricas no han sido creadas con el propósito de transmitir información por lo que estas representan un medio hostil para la transferencia de datos. Dos de los problemas más importantes a los que se enfrenta la tecnología PLC son los niveles excesivos de ruido y la atenuación de la señal a las frecuencias de interés. Para que un sistema PLC funcione adecuadamente, debe ser capaz de evitar o sobreponerse a los diferentes tipos de ruido que ocurren a diferentes frecuencias y en cualquier momento. La atenuación en las líneas de potencia muchas veces es alta e impredecible. Además es muy difícil obtener un modelo significativo de este canal debido a su drástica variación con el tiempo, por la constante conexión y desconexión de dispositivos.

Entre los aspectos técnicos que hacen difícil el desarrollo de un sistema de comunicaciones PLC se destacan:

- **Mal estado de instalaciones eléctricas:** cuando una línea eléctrica posee defectos en sus conductores, no se encuentra debidamente aislada, se ha humedecido por la entrada de agua, no existe una adecuada puesta a tierra o

defectos similares se produce un problema que imposibilita la transmisión de información de forma eficaz.

- **Limitaciones de distancia:** la distancia que una señal de PLC puede viajar varía y depende de muchos factores. Los factores principales son la impedancia, la atenuación y la relación de señal-ruido (SNR).
- **Interferencias:** las redes de transmisión PLC se ven alteradas por la presencia de interferencias que pueden ser causadas por múltiples orígenes, lo que dificulta su integración en la red comunicaciones.

La implementación de redes PLC no debe ser considerada como un remplazo de las tecnologías existentes, sino como una solución complementaria que trabaja en conjunto con otras tecnologías de acceso para llegar a más usuarios y reducir los costes de acceso en la parte final de la infraestructura de acceso pero que requiere la interacción con otras tecnologías para poder proporcionar un sistema integrado de acceso a la red, como son las tecnologías y sistemas de tipo satelital, fibra óptica, redes inalámbricas o cualquier otra tecnología. Las aplicaciones que se pueden tener con la tecnología PLC son todas las que se obtienen con la banda ancha tradicional. Los equipos para PLC son transparentes a cualquier aplicación y su función principal es la conversión de medios de datos a la red eléctrica. Esta característica permite que se pueda integrar como una más de las tecnologías de transmisión de información entre las diferentes instalaciones del laboratorio remoto y los puntos de realización de análisis, ensayos y diagnósticos.

4.2.6. Principales tendencias a nivel mundial

Las tendencias de desarrollo que se vienen realizando en tecnologías PLC vienen impulsadas en gran parte por los diferentes organismos internacionales que regulan la actividad investigadora y promueven normativa para el desarrollo ordenado de esta actividad y tecnología.

En la Tabla 37 se muestra un resumen de los principales organismos que se encuentran desarrollando normativa específica en la materia.

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
<p>CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization</p>	<p>Organismo europeo, fundado en 1973 como la unión de (CENELCOM Y CENEL). Sede: Bruselas <u>Integrada:</u> Comités Electrotécnicos Nacionales de 28 países de Europa Trabaja para el crecimiento del mercado eléctrico, desarrollo tecnológico, establecimiento de seguridad y garantías para los usuarios</p>	<p>EN 50065-1: Establece el uso las frecuencias de 9 a 140 kHz para PLC. Con lo que se consigue tasas de transmisión de 1 a varios kbps</p>
		<p>Comité: CLC/TC 210: “Para estructurar un sistema que coordine las actividades de estandarización de compatibilidad electromagnética”</p>
		<p>CENELEC SC205A: (Integrado por 34 miembros de 8 países): “Establecer estándares para los sistemas de comunicaciones que usan las líneas eléctricas como medio de transmisión y usan el rango de frecuencias entre 3 kHz a 30 MHz”. Incluye métodos de medida de emisiones, perturbaciones en las bandas de baja frecuencia y coexistencia entre los sistemas internos y externos Subgrupos: WG 02: Métodos de prueba y límites para inmunidad WG 04: Filtros y componentes asociados. WG 09: Revisión del estándar EN 50065-1: 1991 WG 10: Estándares para líneas de poder a alta frecuencia</p>
		<p>TC 2005: Sobre sistemas electrónicos en el hogar y en los edificios</p>

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC (continuación)

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
<p>UIT: Unión Internacional De Telecomunicaciones</p>	<p>Organismo encargado de la emisión de normas en lo referente a las tecnologías y servicios de telecomunicaciones. Integrada por 3 sectores de normalización: UIT-T UIT-R (Relacionados con PLC)</p>	<p>Recomendación K.60 (2003): UIT-T G.5 “Límites de emisión y métodos de prueba para redes de telecomunicaciones”</p> <p>Investigación sobre las demandas de radio interferencias y su alcance incluye redes de comunicaciones que usan las líneas eléctricas de baja tensión a frecuencias entre 9 kHz y 40 MHz.</p> <p>Describe procesos asociados a mediciones de interferencia, técnicas de mitigación.</p> <p>UIT-R G.1: Recomendaciones con respecto a modelos de propagación de la señal, análisis y problemas que afectan a servicios de radio específicos.</p> <p>UIT-R G.3: Propagación de los sistemas PLC, con métodos para estimar los niveles de radiación de la señal, naturaleza y variabilidad de las características del sistema PLC e interferencia de múltiples fuentes.</p>
<p>ETSI: European Telecommunications Standards Institute</p>	<p>Organización integrada por 700 miembros de 56 países (incluyendo fabricante, operadores de red, administradores, proveedores de servicio y usuarios). En 1999 Creó un proyecto llamado EP PLT (European Project Powerline Telecommunications) . El EP PLT vela por una clara definición de cooperación y relación con otros organismos e iniciativas relacionadas, como ERM13 y CENELEC14</p>	<p>EP-PLT (European Project Powerline Telecommunication). Objetivos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Asegurar el desempeño de PLC como sistema de banda ancha y el servicio de distribución eléctrica en forma simultánea 2.- Definir una asignación dinámica de frecuencia para la coexistencia de los sistemas PLC de acceso y doméstico 3.- Especificación de arquitecturas y protocolos para los sistemas PLC en el hogar <p>DTS/PLT- 00020 “Mecanismos de coexistencia para el MÓDEM PLC o de Usuario”</p> <p>DTS/PLT- 00019 Capa 1 (Física) y 2 (Acceso al medio) en un Sistema PLC</p> <p>DTS/PLT- 00007 Arquitectura en el hogar y protocolos</p>

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC (continuación)

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
<p>IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers</p>	<p>Cuenta con 375,000 miembros en 150 ciudades aproximadamente, la organización es una de las principales autoridades en áreas desde: aeroespacio, computación y telecomunicaciones para biomedicina, potencia eléctrica y consumidores electrónicos</p> <p>La IEEE produce cerca del 30% de la literatura mundial en el campo de las tecnologías de ingeniería eléctrica y electrónica computacional y control</p>	<p>IEEE P1901: Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. El objetivo de este grupo de trabajo es la definición de los procedimientos de control de acceso al medio y las especificaciones de capa física para toda clase de dispositivos PLC. Muchas compañías y organizaciones de estandarización participan en el desarrollo de IEEE P1901 HomePlug Powerline Alliance UPA y OPERA. Se publico en modo borrador en 2009 y como primera versión en el 2010.</p>
		<p>IEEE P1775: (PLC Equipment-Electromagnetic Compatibility Requirements- Testing and Measurement Methods): Es un grupo de trabajo centrado en los requerimientos de compatibilidad electromagnética del equipamiento PLC y en las metodologías de pruebas y medición</p>
		<p>IEEE P1675: Estándar para el desarrollo de hardware PLC de banda ancha (Standard for BPL Hardware): Se trata de un grupo de trabajo especializado en instalaciones (hardware) y asuntos de seguridad para el uso de la tecnología PLC</p> <p>Establece recomendaciones sobre métodos de instalación y seguridad que garantizan una adecuada aplicación</p>
<p>CISPR: Comité Internacional Especial sobre Perturbaciones Radioeléctricas</p>	<p>Grupo no Gubernamental creado en 1934 integrado por Organizaciones Internacionales, cuyo objetivo es la protección de los servicios de radio y el control de la interferencia</p>	<p>CISPR I: Grupo CISPR SC I WG 3 Y WG 4 Establece un estándar que norme las emisiones e interferencias en los sistemas PLC</p>
		<p>CISPR 22: Base de la norma EN 55022</p>

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC (continuación)

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
<p>FCC: Federal Communications Commission</p>	<p>Organismo independiente que ha impulsado a los sistemas PLC para que puedan trabajar y competir de manera transparente frente a otras tecnologías</p>	<p>Informe 2003 Investigación sobre la tecnología y sistemas PLC</p> <p>Reporte FCC-04-245: Establece requerimientos administrativos para ayudar en la identificación de instalaciones PLC. Mejorar los procesos de medida y monitoreo para asegurar las correctas evaluaciones de emisión de los sistemas PLC. Establecer requerimientos técnicos para los equipos PLC, tales como la capacidad de anular frecuencias específicas, el control remoto de niveles de potencia y apagado. Clase A: sistemas de acceso PLC que operan sobre líneas de medio voltaje. Clase B: equipos usados en la ubicación de usuario para aplicaciones comerciales, negocios o industriales. Establecer bandas de frecuencia excluidas para el uso por parte de sistemas PLC, con el objetivo de proteger las comunicaciones aeronáuticas y servicios de operación sensibles como radioastronomía. Promover el desarrollo de sistemas PLC eliminando incertidumbre por parte de operadores y fabricantes de equipos PLC sobre aspectos regulatorios.</p>
<p>UPA: Universal Powerline Association</p>	<p>Organización internacional sin fines de lucro que trabaja en la formulación de estándares globales y normativas regulatorias orientadas al mercado PLC. Constituida por compañías líderes en tecnología PLC, cuyo objetivo es desarrollar productos certificados que sean compatibles con las especificaciones de los organismos internacionales de normalización, para situarlos en el mercado y comercializarlos</p>	<p>Sus desarrollos y actividad han ayudado a que se haya regulado el uso del espectro de frecuencias y las especificaciones de calidad de servicio (QoS) para los equipos terminales de abonado (CPEs)</p>

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC (continuación)

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
UPL: UNITED POWER LINE COUNCIL	Creada en 1998. Alianza de empresas de servicio público eléctrico y proveedores de productos PLC. Incluye a 77 compañías	Provee información sobre: Oportunidades de negocios, Defensa regulatoria y legislativa, Operabilidad técnica y aplicaciones. Ha creado "The Power Line", revista que reporta el desarrollo de negocios y regulaciones técnicas para el PLC
HOMEPLUG: Home Plug PowerLine Alliance	Asociación de empresas, en su mayoría estadounidenses, comprometidas con PLC. Cuenta actualmente con 80 miembros proveedores de esta tecnología. Se originó gracias a la idea de tener un foro para incentivar el desarrollo de PLC. Los miembros del grupo aportan la capacidad y financiación necesaria para el desarrollo de esta tecnología. Entre los principales integrantes de esta asociación destacan: Comcast, Intel, Linksys, Motorola, Radio Shack, Samsung, Sharp, y Sony	Estándares: HomePlug 1.0: Especificación para la conexión de dispositivos vía líneas eléctricas dentro del hogar. HomePlug AV: Diseñado para la transmisión de HDTV y VoIP dentro del hogar. Ofrece un enfoque integral para una estructura de red doméstica exhaustiva y realista. HomePlug BPL: Define un grupo de trabajo para el desarrollo de especificaciones orientadas a la conexión dentro del hogar. El espectro de trabajo de las especificaciones HomePlug está comprendido entre los 4,3 y los 20,9 Mhz, con técnicas de modulación OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>), con capacidad de transmisión alrededor de los 14 Mbit/s. El enfoque Home Plug se centra básicamente en la tecnología de la red interior de PLC (Indoor) y no contempla la separación de bandas de frecuencia, lo que aleja a HomePlug de la tendencia normativa que actualmente se promueve en Europa.
INTELLON CEBus	Compañía privada que opera como un fabricante de semiconductores y circuitos integrados que conforman los circuitos CEBus (Consumers Electronics Bus)	Emitió un estándar abierto denominado CEBus, el cual proporciona la especificación de la capa física para las comunicaciones en líneas de poder u otros medios. Su tecnología se orienta a proveer capacidad de control a las redes caseras mediante transmisores y receptores con tecnología Spread Spectrum

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC (continuación)

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
opera	Creado en el 2004 por la Comunidad Europea. Integrado por 36 miembros de países europeos e Israel; entre ellos empresas de servicio eléctrico, operadores de telecomunicaciones, fabricantes y universidades	Desarrolla estudios para el crecimiento de la tecnología PLC en Europa. Fomenta el desarrollo de PLC de acceso y domésticos. Estandarización para mejorar el funcionamiento de los terminales PLC e incrementar los despliegues comerciales
Eia: Electronics Industry Association	Organismo importante de estandarización, miembro de la ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales)	EIA-709: Define un protocolo de comunicación para el control de redes caseras. La comunicación física ocurre sobre líneas de fuerza interiores o exteriores. El canal de la línea de energía ocupa un ancho de banda de 125 kHz a 140 kHz y se comunica a 10 kbps usando tecnología Spread Spectrum.
X10 Corporations	Tiene aproximadamente 20 años de creación. Su propósito es de integrar dispositivos de control e iluminación (transmisión unidireccional)	Protocolo X-10 de comunicaciones que permite que los productos caseros compatibles en una red, se comuniquen el uno con el otro vía el cableado eléctrico existente en el hogar
PLC FORUM	Creada en el 2000 en Suiza, mediante la unión de IPCF (International Powerline Communications Forum) y de German Powerline Communications Forum (PTF). Conformado por 83 miembros de los cuales el 37% son empresas de servicios, 42% son fabricantes y 21% son propietarios. Se encarga de representar los intereses de los fabricantes y otros organismos interesados en PLC	Contribuyen al conocimiento y difusión del PLC. Crea estándares abiertos, para que los fabricantes trabajen con interfaces reconocidas y no se presenten dificultades de interoperabilidad entre distintos fabricantes

Tabla 37. Organismos internacionales para el desarrollo del PLC (continuación)

Organismo	Descripción	Normas y recomendaciones
PUA: PLC Utilities Alliance	<p>Fue fundada en Enero de 2002 por Iberdrola, Enel, EDF, EnBW y Endesa, EdP, Unión FENOSA y EEI-FEW.</p> <p>La PUA está trabajando en base a tres Grupos de Trabajo. El objetivo es conseguir un alto nivel de cooperación entre las compañías eléctricas para promover e influenciar el desarrollo de la industria PLC en Europa. La misión de la PUA es crear un marco regulatorio y de estandarización que soporte el desarrollo de la industria PLC y que establezca la tecnología PLC como una de las políticas prioritarias para el despliegue de Redes de Banda Ancha en la Unión Europea.</p>	<p>Grupos de trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El Grupo de Trabajo de Estandarización y Regularización, encargado del desarrollo de un marco regulatorio • El Grupo de Trabajo para el Conocimiento y la Promoción, encargado de promocionar la tecnología PLC en la Unión Europea y en América del Norte • El Grupo de Trabajo para Estándares Abiertos, encargado de desarrollar un estándar abierto para la interoperabilidad de los sistemas PLC de diversos fabricantes

4.3. CONCLUSIONES

En el presente capítulo se han analizado los sistemas de comunicaciones que forman parte del nuevo concepto de SG y que dan solución a la necesidad en este tipo de redes de proveer una comunicación de alta capacidad, segura, escalable y con capacidad de funcionamiento bidireccional. Dentro de esas tecnologías algunas ya se encuentran desplegadas y son operativas en este momento mientras que otras deben todavía de sufrir un impulso y un desarrollo tecnológico para que puedan ser parte integrante del sistema eléctrico y de los nuevos sistemas de comunicación por PLC.

La infraestructura y modo de operación del laboratorio remoto propuesto en esta tesis permite una integración real en el momento actual y además asegura una no-obsolencia al ser posible integrar cualquier desarrollo que se vaya produciendo en años venideros tanto a nivel de comunicación y TICs como a nivel de dispositivos, técnicas y tecnologías de mejora de la eficiencia energética. Ello implica que el laboratorio remoto tendrá un desarrollo futuro garantizado y cumple con todos los requisitos enunciados y requeridos en apartados anteriores.

5. EXPERIMENTOS EN LABORATORIO REMOTO INTEGRADO EN REDES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se lleva a cabo la exposición de diferentes experimentos que se proponen como punto de partida del laboratorio remoto de eficiencia energética integrado en redes de generación distribuida.

Todos estos experimentos engloban diferentes sectores, niveles técnicos y áreas de intervención. Con estos se exponen las capacidades reales de implementación del laboratorio remoto de eficiencia energética y se abren las puertas a desarrollos futuros que conlleven la inclusión de más tecnologías, sistemas, técnicas de mejora de la eficiencia energética o nuevos sistemas de comunicación.

El objetivo buscado en el presente capítulo es mostrar la metodología a seguir para la realización de experimentos en el laboratorio remoto, analizar los resultados obtenidos, detectar carencias y áreas de mejora, obtener conclusiones y establecer vías de trabajo futuras en el área.

Los experimentos se han clasificado por diferentes áreas sectoriales o temáticas según los objetivos buscados en materia de formación en eficiencia energética y que se habían detallado en los primeros capítulos de este documento. Con ello se demuestra la horizontalidad de la solución propuesta, las aplicaciones multidisciplinarias y la capacidad real de trabajar con múltiples herramientas de análisis y tratamiento de la información. En la Tabla 38 se muestra un resumen de los experimentos llevados a cabo en esta primera etapa y se clasifican según el área de aplicación.

Tabla 38. Ejemplos de experimentos en el laboratorio remoto

Área de aplicación	Experimento
Eficiencia energética en Edificios y sector terciario	Eficiencia energética en viviendas Energía solar térmica Energía fotovoltaica para aplicaciones aisladas Sistemas de Frío solar integrados en edificación Análisis exerгético edificios y soluciones solares Edificios pasivos
Eficiencia energética en Sector Industrial	Optimización de bombeos Sistemas de energía geotérmica integrados en industrias ganaderas bajo modalidad ESE Iluminación industrial
Eficiencia energética: aplicaciones horizontales	Redes de poligeneración Mixto Eólico-Diesel con ciclos ORC Acumulación de energía en Smart Grids Optimización de pérdidas en transformadores Sistemas de cogeneración

Todos estos experimentos engloban gran parte de los sectores donde se pueden implantar técnicas y tecnologías de mejora de la eficiencia energética y son aplicables no sólo a nivel local o nacional sino también a nivel internacional. En la Tabla 39 se analizan los experimentos y el ámbito de aplicación prioritario para cada uno de ellos. Merece la pena hacer especial mención a la capacidad que poseen parte de estos experimentos y otros que se podrán desarrollar en un futuro para ser utilizados como herramientas docentes al servicio de la cooperación al desarrollo. Esta aplicación es posible a nivel de formación de profesionales orientados a la realización de tareas en este ámbito pero también para la formación de profesionales en los propios países y zonas de aplicación de estas tecnologías, cumpliendo de este modo el laboratorio una función de tipo social. El autor ha desarrollado anteriormente estudios orientados a esta temática, destacando estudios sobre la aplicación de los sistemas telegestionados a la cooperación al desarrollo (Borge, 2008) y el uso de sistemas de gasificación como herramienta de generación energética en estas zonas (Borge et al., 2008), (Borge et al., 2010).

Tabla 39. Área de aplicación de los experimentos llevados a cabo en el laboratorio

Experimento	Tipología de aplicación del experimento	Ámbito geográfico
Eficiencia energética en viviendas	Sector edificación para vivienda pequeña y mediana	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.
Energía solar térmica	Sector edificación y terciario (agua caliente sanitaria y piscinas)	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.
Energía fotovoltaica para aplicaciones aisladas	Sector edificación especialmente en zonas aisladas o dentro de un funcionamiento en balance neto	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.
Sistemas de Frío solar integrados en edificación	Sector edificación vivienda unifamiliar	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.
Análisis exergético edificios y soluciones solares	Sector edificación vivienda unifamiliar	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.
Edificios pasivos	Sector edificación cualquier tamaño, aplicación especial a cooperación al desarrollo	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.
Optimización de bombeos	Sector público (agua potable), industrial y agrícola (regadíos)	Nacional e Internacional.
Sistemas de energía geotérmica en industrias ganaderas	Sector industrial	Nacional e Internacional.
Iluminación industrial	Sector industrial	Nacional e Internacional.
Redes de poligeneración Mixto Eólico-Diesel con ciclos ORC	Sector residencia en estrategia de Smart Grids	Nacional e Internacional.
Acumulación de energía en Smart Grids	Sector de distribución de energía. Smart Grids.	Nacional e Internacional.
Optimización de pérdidas en transformadores	Sector industrial, residencial y terciario. Aplicación horizontal.	Nacional e Internacional.
Sistemas de cogeneración	Sector industrial, residencial y terciario. Aplicación horizontal.	Nacional e Internacional.
Producción de biogás en poblaciones rurales	Sector edificación y cooperación al desarrollo.	Nacional e Internacional. Formación en cooperación al desarrollo.

Para todos estos experimentos y con el objetivo de mostrar la potencialidad del laboratorio remoto se han utilizado diferentes herramientas de análisis y diagnóstico. Esto permite probar que es posible integrar el laboratorio remoto con múltiples tecnologías de software sin que exista limitación alguna y adaptar los experimentos a las herramientas deseadas.

Del mismo modo estos experimentos pueden adaptarse a diferentes niveles de dificultad y alcance técnico con el objetivo de hacer que estos sean válidos para múltiples acciones formativas.

En la Tabla 40 se muestran las aplicaciones de software que se han utilizado para cada uno de los casos.

Tabla 40. Herramientas utilizadas en los experimentos del laboratorio remoto

Experimento	Herramienta de Software utilizada
Eficiencia energética en viviendas	Hoja de cálculo (MS Excel)
Energía solar térmica	Hoja de cálculo (MS Excel)
Energía fotovoltaica para aplicaciones aisladas	Hoja de cálculo (MS Excel)
Sistemas de Frío solar integrados en edificación	TRNSYS, Hoja de cálculo (MS Excel)
Análisis exergético edificios y soluciones solares	TRNSYS, Hoja de cálculo (MS Excel)
Edificios pasivos	Energy Plus, Hoja de cálculo (MS Excel)
Optimización de bombeos	Hoja de cálculo (MS Excel)
Sistemas de energía geotérmica integrados en industrias ganaderas	Hoja de cálculo (MS Excel)
Iluminación industrial	Dialux, Hoja de cálculo (MS Excel)
Redes de poligeneración Mixto Eólico-Diesel con ciclos ORC	TRNSYS, EES, Hoja de cálculo (MS Excel)
Acumulación de energía en Smart Grids	MATLAB, Hoja de cálculo (MS Excel)
Optimización de pérdidas en transformadores	Hoja de cálculo (MS Excel)
Sistemas de cogeneración	Hoja de cálculo (MS Excel)

En función del usuario final del laboratorio y del entorno formativo se abordará el uso de unas u otras tecnologías de análisis. Esto permite que en el caso de que se quiera orientar hacia una herramienta concreta o adaptarlo a un sector profesional que utilice un determinado software como sistema habitual de trabajo esto no supondrá dificultad alguna. Un mismo experimento puede alimentar a multitud de sistemas o tecnologías de análisis que estarán adaptadas a las necesidades concretas de cada caso.

Para los ejemplos desarrollados y analizados en este capítulo se detalla en la Tabla 41 cuál es nivel teórico de formación que se ha adaptado así como el público a que está dirigido.

Tabla 41. Orientación de los experimentos propuestos

Experimento	Nivel formativo del experimento realizado	Niveles formativos aplicables	Orientación del experimento
Eficiencia energética en viviendas	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Formación Secundaria-Nivel Formación Profesional	Sector docencia media Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Energía solar térmica	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Energía fotovoltaica para aplicaciones aisladas	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Sistemas de Frío solar integrados en edificación	TRNSYS, Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario-Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector cooperación desarrollo
Análisis exergético edificios y soluciones solares	TRNSYS, Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario-Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Edificios pasivos	Energy Plus, Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario-Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Optimización de bombes	Hoja de cálculo (MS Excel)		Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Sistemas de energía geotérmica integrados en industrias ganaderas	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario-Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Iluminación industrial	Dialux, Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Redes de poligeneración Mixto Eólico-Diesel con ciclos ORC	TRNSYS, EES, Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario-Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector profesional

Tabla 41. Orientación de los experimentos propuestos (continuación)

Experimento	Nivel formativo del experimento realizado	Niveles formativos aplicables	Orientación del experimento
Acumulación de energía en Smart Grids	MATLAB, Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario- Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector profesional
Minimización de pérdidas en distribución eléctrica	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario	Sector docencia superior Sector profesional
Optimización de pérdidas en transformadores	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario- Nivel Doctorado	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo
Sistemas de cogeneración	Hoja de cálculo (MS Excel)	Nivel Universitario	Sector docencia superior Sector profesional Sector cooperación desarrollo

En todos los experimentos analizados a continuación se utiliza una ficha como la mostrada en la siguiente página donde se detallan las características más importantes del experimento con el objetivo de poder clasificarlo y conocer sus principales aspectos determinantes. De este modo se puede, de un simple vistazo, conocer cuál es el alcance que presenta, los principales resultados, el ámbito de aplicación y la configuración del experimento.

Título del Experimento

Área de aplicación

Tipo de sector

Herramienta de análisis

Resumen de objetivos del experimento

Descripción del experimento realizado. En este apartado se detallará para cada uno de ellos cuáles son objetivos buscados, cómo se realiza el experimento, qué tecnologías aplican y qué áreas de mejora se pretenden encontrar.

software se han utilizado, el público objetivo y los beneficios en materia de mejora de la eficiencia energética que se han conseguido. Además se resumirá de forma breve qué oportunidades de mejora se han

Resultados principales, áreas de mejora y conclusiones.

Con este breve resumen es posible, de un modo sencillo, tener una visión general del experimento, de la metodología seguida y los resultados esperados. En el caso de experimentos propuestos para futuros desarrollos basados en tecnologías no disponibles o maduras se enunciarán estas y qué desarrollo se espera.

Se analizará, de forma breve, qué se pretende, qué herramientas de

detectado con el objetivo de que puedan incorporarse en futuras versiones o desarrollos. Esta ficha permite, de un modo visual, tener un conocimiento resumido pero a la vez claro de qué se va a desarrollar en el experimento, por qué y para qué.

Tecnologías utilizadas

•••

En este apartado se detallarán las tecnologías que se han utilizado o que se proponen para llevar a cabo el experimento, tanto a nivel de comunicaciones, toma de datos y análisis de la información.

5.1. EXPERIMENTOS EN EL ÁREA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS Y EN EL SECTOR TERCIARIO

Se presentan en este apartado los experimentos correspondientes al área de la eficiencia energética en edificios y en el sector terciario. Para cada uno de los experimentos propuestos se analiza la metodología y resultados esperables del mismo.

5.1.1. Eficiencia energética en viviendas

La mejora de la eficiencia energética en las viviendas es un factor determinante para cumplir con los objetivos globales propuestos a nivel español pero también es un sector clave y determinante en una estrategia europea y global. En el presente experimento, cuyas características se detallan en la Tabla 42 , el estudiante utiliza los datos recogidos mediante un contador telegestionado en un hogar y realiza cálculos sobre los parámetros de consumo energético, las emisiones de CO₂ asociadas y propone mejoras. El sector al que está dirigido es al de la educación secundaria de forma prioritaria ya que se puede concienciar de forma sencilla sobre la influencia de los equipos y de los hábitos de consumo en la eficiencia energética. El experimento puede ser además utilizado en sesiones formativas a adultos para la concienciación y formación en materia de mejora de la eficiencia energética en viviendas.

Tabla 42. Experimento sobre Eficiencia Energética en viviendas

Destinatarios	Alumnos de educación secundaria Adultos Público general en sesiones de formación y concienciación en la materia	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de contador telegestionado vía GRPS/GSM
	Futurible	Sistema de contador telegestionado con capacidad AMR y comunicación con sistema PLC
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de un conocimiento claro sobre los diferentes equipos consumidores de energía en el hogar, su influencia en el consumo energético global y su repercusión a nivel de eficiencia energética</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para la propuesta de mejoras y de acciones de reducción del consumo energético</p> <p><u>Concienciar</u> de la importancia de la gestión adecuada de la energía en el hogar</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Eficiencia Energética en viviendas

Formación secundaria y adultos

Sector residencial y terciario

Hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

El usuario del experimento accede de forma remota a los datos de consumo energético de una vivienda mediante el uso de un sistema de contador energético telegestionado y con capacidad de lectura AMR. Los datos se descargan en una base de datos y estos datos son,

un coste nulo, la reducción del consumo energético en la vivienda. Se consigue de este modo dotar a formadores y profesores de una herramienta sencilla pero a la vez eficaz que permita ayudar a cumplir los objetivos de ahorro energético en el sector

El usuario puede conocer y analizar de forma sencilla el consumo energético en una vivienda y proponer medidas para la reducción del mismo.

posteriormente, alimentados a una hoja de cálculo. Esta herramienta, que puede ser accesible en cualquier tipo de centro formativo o para el usuario final, permite analizar el consumo energético de la vivienda, los factores que determinan los valores obtenidos y proponer mejoras o acciones para la reducción del mismo. El usuario puede realizar una auditoría energética previa de la vivienda detectando acciones y opciones de mejora que conlleven, con

residencial y que por su sencillez de uso puede ser incorporada en sesiones de formación y concienciación a adultos, aportando así un gran valor añadido.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza tecnologías de lectura de datos a distancia que permiten telegestionar y controlar contadores eléctricos de viviendas. En un futuro desarrollo de las Smart Grids estos equipos estarán dotados de un sistema de comunicación por PLC, lo que permitirá incorporar de forma paulatina nuevas instalaciones al laboratorio. El tipo de instalación estudiada permite que se puedan incorporar todo tipo de usos de edificios y valorar, de este modo, cómo influyen diferentes parámetros de contorno (clima, tipo de uso, horarios de uso...) en el consumo energético.

5.1.1.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento

El usuario tiene a su disposición dos herramientas de trabajo, una para cálculo de consumos energéticos y valoración de la influencia del uso en el consumo total de energía y una segunda herramienta para realizar ensayos sobre las mediciones registradas por el equipo de medida.

A. Zona de cálculos energéticos

El usuario introduce datos de consumos energéticos según su experiencia y hábitos en el hogar en una tabla como la mostrada en la Fig. 30 para el caso de consumos eléctricos y en la Fig. 31 para el caso de consumos térmicos y obtiene los resultados detallados de consumo energético debido a los diferentes equipos que ha introducido.

Registro y cálculo del consumo de electricidad								
Nombre:								
Objeto de medición								
Lugar/ubicación:								
①	CARGA	Nº de Carga ②	Potencia (W) ③	Factor de demanda ④	Horas de funcionamiento por semana			Wh por semana ⑦
					Horas por día ⑤	Días de uso X semana ⑥	Horas por semana ⑤x⑥	
Alumbrado								
▶	Bombilla incandescente 40W		40	1			0	0
▶	Bombilla incandescente 60W		60	1			0	0
▶	Bombilla incandescente 75W		75	1			0	0
▶	Bombilla incandescente 100W		100	1			0	0
▶	Fluorescente 13W		13	1			0	0
▶	Fluorescente 17W		17	1			0	0
▶	Fluorescente 20W		20	1			0	0
▶	Fluorescente 32W		32	1			0	0
▶	Fluorescente 40W		40	1			0	0
Aparatos eléctricos								
▶	Aire acondicionado (individual)		2000	0,7			0	0
▶	Aire acondicionado		2000	0,7			0	0
▶	Ventilador de mesa		150	0,7			0	0
▶	Ventilador de techo		50	0,8			0	0
▶	Plancha		2000	0,8			0	0
▶	Calentador (50 litros)		1500	0,9			0	0
▶	Motor o bomba			0,3			0	0
▶	Lavadora		2000	0,4			0	0
▶	Lavavajillas		2000	0,7			0	0
▶	Frigorífico		250	0,25			0	0
▶	Congelador		100	0,25			0	0
▶	Secador de pelo		1800	0,8			0	0
▶	Secadora de ropa		2500	1			0	0
▶	Licuadaora		300	1			0	0
▶	Batidora		200	1			0	0
▶	Horno microondas		1200	0,9			0	0
▶	Exprimidor		70	1			0	0
▶	Tostadora		900	1			0	0
▶	Aspirador		1800	1			0	0
▶	Cafetera		1000	1			0	0
▶	Freidora		1500	1			0	0
▶	Manta eléctrica		150	0,9			0	0
▶	Deshumidificador		800	0,8			0	0
▶	Acuario		800	0,9			0	0
Aparatos electrónicos								
▶	Ordenador + monitor		250	0,9			0	0
▶	Radio (stereo)		150	0,9			0	0
▶	Televisión		120	0,9			0	0
▶	Video		60	1			0	0
▶	Ordenador portatil		50	0,9			0	0
▶	Equipo de sonido completo		300	1			0	0
▶	Videoconsola		5	1			0	0
▶	Reproductor de CD		30	0,9			0	0
▶	Extractor		500	0,9			0	0
							⑧ TOTAL Wh x semana:	0
							Número de semanas al mes = 30/7=	4,3
							⑨ Wh x Mes = ⑧x4,3	0
							⑩ Conversión a kWh x Mes = ⑨/1000	0,00
Rango de consumos		Precio electricidad (Residencial):		Sub-total:		Coste total del consumo eléctrico (€)		
Hasta		0,2 €/kWh						
Entre		0,15 €/kWh				0,00		
Más de		0,12 €/kWh						



Factor de carga: es la relación entre la potencia que consume un aparato en un momento dado y la máxima potencia que puede consumir ese aparato. Muchos aparatos no funcionan a su máxima potencia, por ejemplo el consumo de un ventilador dependerá de la velocidad y el consumo de una radio depende del volumen. El importe efectivo de la energía consumida depende de la configuración utilizada en cualquier momento. Esto significa que si un aparato no funciona a su máxima potencia, la electricidad consumida no es exactamente igual a la potencia por el tiempo. Por lo tanto se utiliza el llamado 'factor de carga' que es un número que multiplica la electricidad consumida por un aparato a su máxima potencia, de esta manera se obtiene la electricidad consumida realmente. Un factor de carga de 1 significa que el aparato funciona a su máxima potencia mientras que si es menor de 1 funcionan a una potencia menor.

Fig. 30. Pantalla para realización de cálculos eléctricos

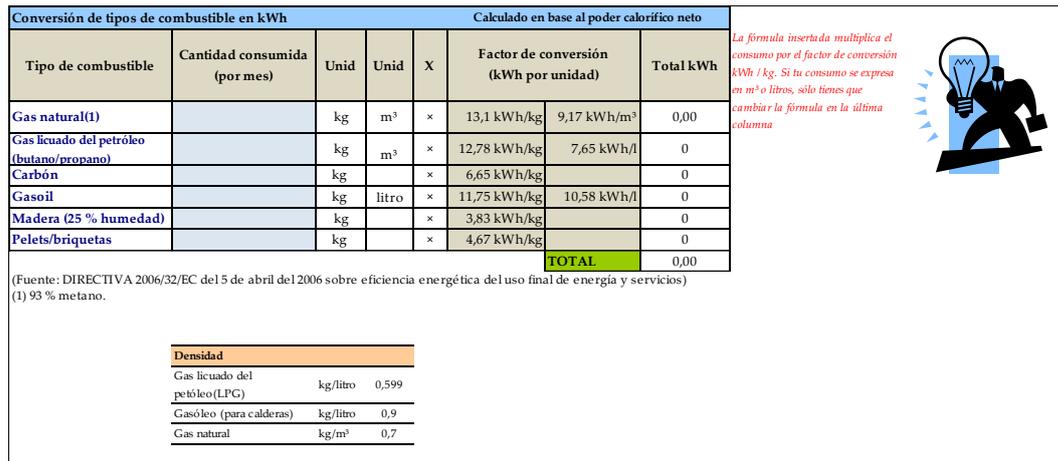


Fig. 31. Pantalla para la realización de cálculos térmicos

B. Zona de medición remota y propuesta de mejoras

El usuario carga de la base de datos las lecturas del contador telegestionado y procede a analizar los consumos energéticos tanto a nivel de consumo eléctrico, Fig. 32, como térmico, Fig. 33. De este modo el usuario puede analizar cuáles son los parámetros que influyen en las emisiones globales de CO₂, comparar diferentes edificios y realizar una pequeña auditoría energética inicial que se acompañará de una propuesta preliminar de mejoras que se explican con un lenguaje ameno, sencillo y claro para personal no especializado en el ámbito energético, Fig. 34. En el caso de que un docente imparta la formación se puede llevar a cabo esta proponiendo una actividad participativa en la que cada asistente proponga diferentes acciones y se comprueben los resultados de cada una de ellas.

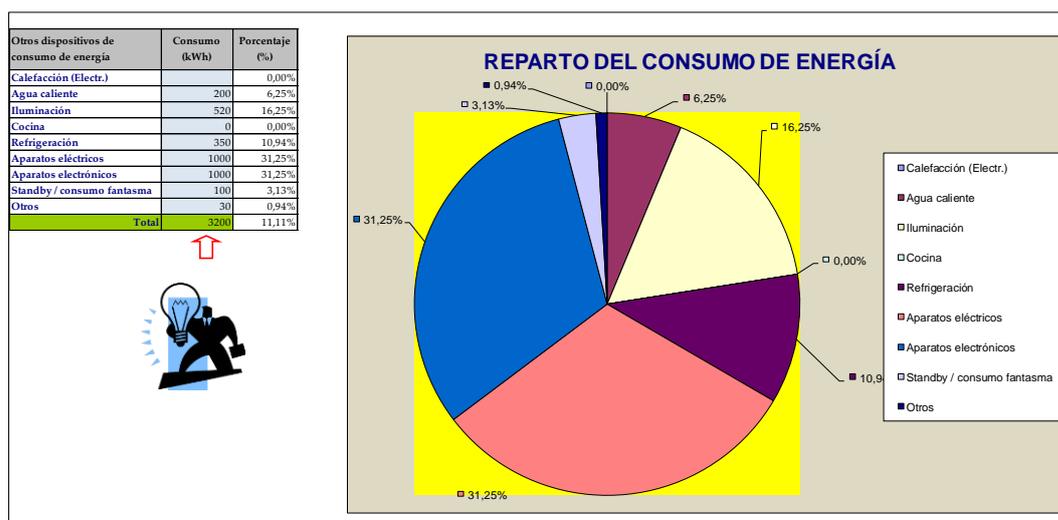


Fig. 32. Reparto del consumo eléctrico en la vivienda estudiada

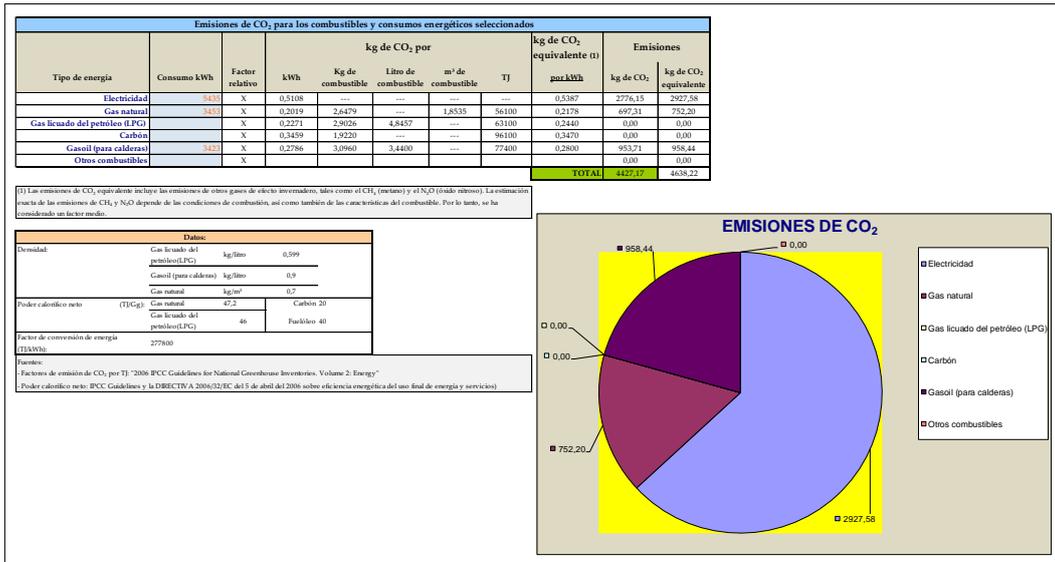


Fig. 33. Reparto del consumo térmico en la vivienda estudiada

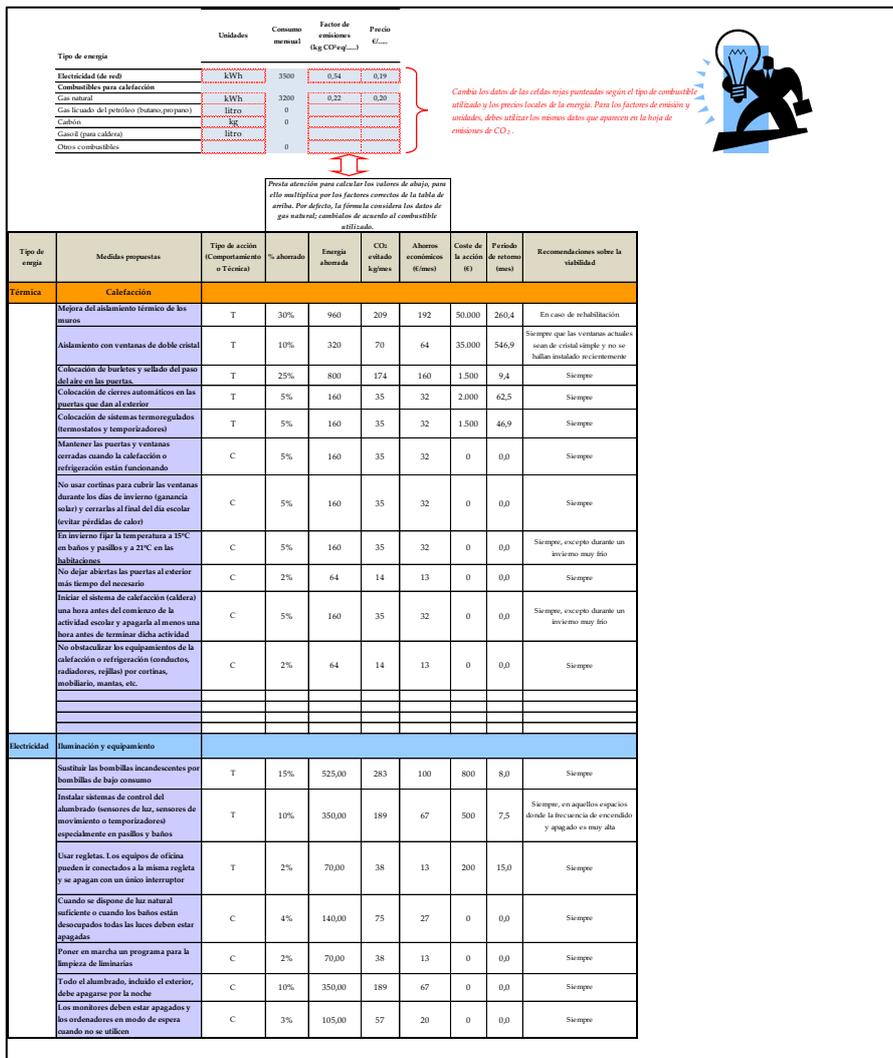


Fig. 34. Medidas de ahorro propuestas

5.1.1.2. Conclusiones y desarrollos futuros

La herramienta y el experimento remoto presentados constituyen un sistema sencillo pero a la vez completo y con capacidad real de proporcionar formación en materia de eficiencia energética en el sector de la vivienda. Dicho sector representa un importante porcentaje del consumo de energía total y debe ser contemplado en las acciones formativas que se lleven a cabo para lograr los objetivos de reducción del consumo energético, expuestos en los primeros apartados de esta tesis doctoral.

El desarrollo futuro de este sistema se puede ampliar con la incorporación de nuevos edificios monitoreados, sistemas de lectura de datos vía PLC y el desarrollo de una aplicación a medida para este fin.

5.1.2. Sistemas de Energía Solar Térmica integrados en edificación

Los sistemas de energía solar térmica integrados en edificios permiten reducir el consumo de combustibles fósiles mediante la generación de energía térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y para la climatización de piscinas de un modo limpio. La normativa vigente en materia de edificación, el Código Técnico de la Edificación (CTE) (CTE, 2007), obliga a la instalación de sistemas de energía solar térmica (EST) en todos los edificios de nueva construcción o en aquellos que sufran una reforma que cumpla con los condicionantes impuestos en la normativa.

En la Tabla 43 se muestran los principales parámetros del experimento sobre mejora de la eficiencia energética en edificios y piscinas mediante la implementación de sistemas de EST.

Tabla 43. Experimento sobre Energía Solar Térmica en edificación

Destinatarios	Alumnado universitario Profesionales en activo en el ámbito de la ingeniería y arquitectura Profesionales en el área de explotación y mantenimiento	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de contadores de agua y gas telegestionados vía GRPS/GSM
	Futurible	Sistema de contadores de agua y gas telegestionados, con capacidad AMR y comunicación con sistema PLC para sistemas de combustible o cualquier sistema Building Management System (BMS)
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de conocimientos sobre los consumos energéticos asociados a la generación de ACS y a la climatización de piscinas y de las repercusiones ambientales de estos</p> <p><u>Proporcionar</u> una herramienta que permita prediseñar toda la instalación de EST y analizar cual es el ahorro energético obtenido y cuáles son los parámetros económicos y financieros asociados a la inversión</p> <p><u>Concienciar</u> de la existencia de tecnologías probadas y fácilmente integrables en la edificación que permiten reducir el consumo energético de combustibles fósiles</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Energía Solar Térmica en edificación

Formación universitaria y profesionales
en activo

Sector residencial y terciario

Hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

El usuario del experimento accede de forma remota a los datos de consumo de combustible de una instalación para generación de ACS en un edificio de tipo residencial o terciario y a partir de esos datos puede dimensionar, a medida, una instalación de energía solar térmica adecuada a las necesidades

radiación, las temperaturas y cualquier otro componente.

El usuario puede dimensionar, además, todos los demás componentes auxiliares tales como tuberías, bombas y elementos de seguridad. La herramienta genera una memoria adaptada a la

El usuario puede conocer y analizar de forma sencilla el consumo energético en una vivienda y proponer medidas para la reducción del mismo.

reales de la instalación. El usuario puede acceder, de forma totalmente integrada, a los datos climáticos de la ubicación y a un sistema de cálculo de aportación solar mediante el método f-chart, integrando de este modo una solución completa para el problema en una única herramienta. En función del tipo de edificio monitoreado y ensayado el usuario puede comprobar qué aportaciones se pueden realizar con EST, la influencia de los niveles de

normativa vigente completando así todas las capacidades docentes.

El usuario puede ser un profesional en activo o en formación, aportando así una gran versatilidad.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza tecnologías de lectura de datos a distancia que permite telegestionar y controlar sistemas de medida de consumo de combustible. Este sistema puede ser un contador telegestionado o un complejo sistema BMS que permita acceder a las lecturas de los consumos de contadores de gas y agua. La tecnología solar térmica contemplada incluye colectores planos y de tubo de vacío y la base de datos de estos componentes permite una continua actualización y la integración de nuevos productos y desarrollos.

5.1.2.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento

El usuario cuenta con una página inicial de instrucciones donde se detalla el funcionamiento del experimento, sus capacidades y los objetivos. A partir de esas instrucciones el usuario o el docente acceden a dos zonas de cálculo y simulación que incluyen el apartado de generación de ACS y de climatización de piscinas.

A. Cálculo de energía solar térmica para generación de ACS

El usuario accede a los consumos de agua del edificio o instalación objeto del experimento y con una total interactividad selecciona el número de captadores, modelo, características de los fluidos circulantes etc. proporcionando de este modo un dimensionado de la instalación completo, Fig. 35. Tras este dimensionado el usuario puede comprobar si se cumplen los requerimientos de aportación mínima, los valores mensuales para esta aportación, el balance energético y otros datos críticos del dimensionado. La herramienta genera mensajes de alerta sobre aspectos de verificación de la normativa y de seguridad para que el usuario, en caso de no cumplir los requisitos necesarios, modifique los parámetros pertinentes para subsanar los problemas detectados, Fig. 36.

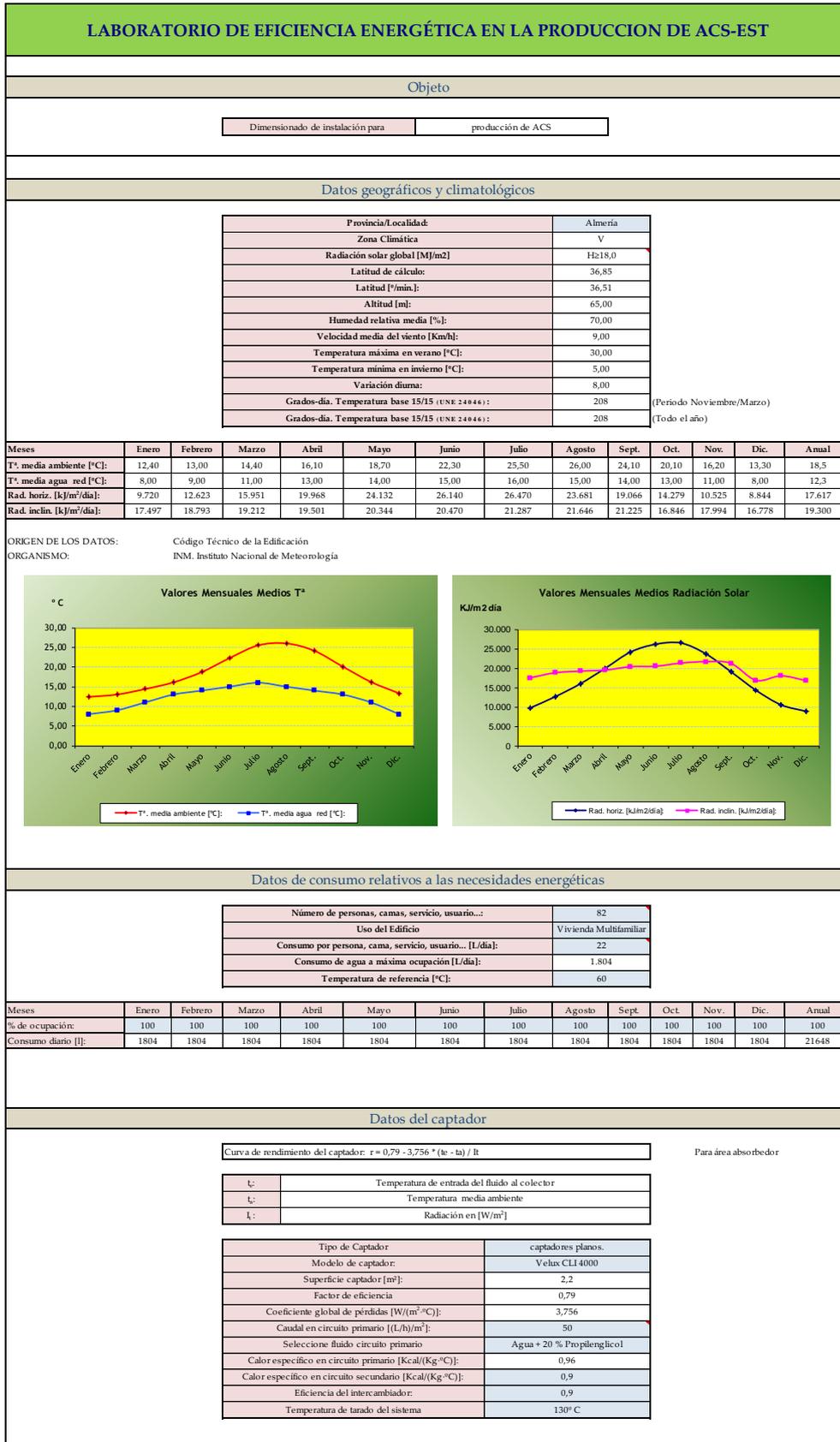


Fig. 35. Selección de captador y de sistema de generación de ACS solar

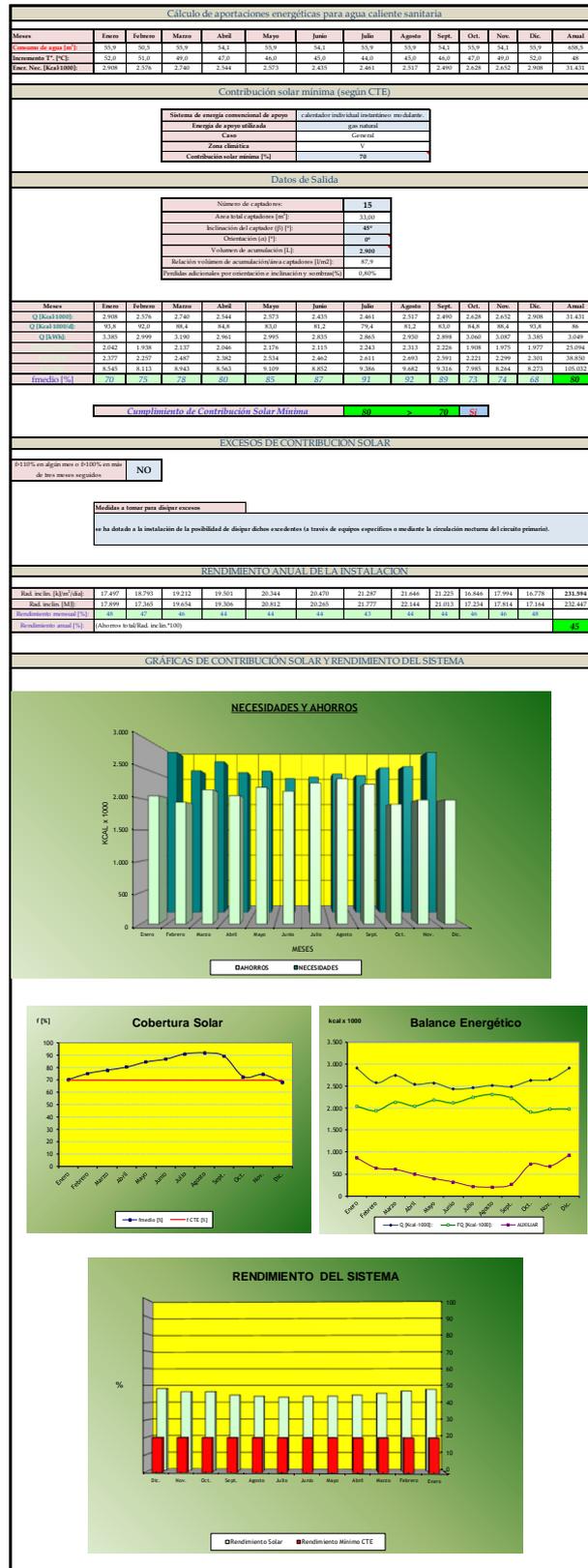


Fig. 36. Resultados del dimensionado

El experimento no sólo permite diseñar el sistema de captación y simular y calcular la aportación renovable que se produce; además permite diseñar todos los componentes básicos para la instalación incluyendo sistemas de acumulación, tuberías, sistemas de bombeo etc. y las distancias mínimas entre colectores, entre otros. El sistema permite una entrada de datos detallada que incluye potencias, superficies, características de materiales etc. de modo que el usuario puede interactuar y comprobar cómo afectan las variaciones de estos parámetros en el funcionamiento del sistema. En la Fig. 37 y en la Fig. 38 se muestra el apartado correspondiente al dimensionado de la parte de la instalación destinada a la acumulación y distribución y en la Fig. 39 la parte correspondiente a la verificación del cumplimiento normativo en materia de sombras, distancias y características de integración en la edificación. Todos estas acciones están además supervisadas internamente y el usuario obtiene en pantalla mensajes de alerta sobre la idoneidad o no de los cálculos realizados y se indica en caso de que por algún motivo se incumplan condiciones de seguridad o requerimientos normativos aplicables a estas instalaciones.

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCION DE ACS-EST. DATOS DE DISEÑO ACS									
1.- SISTEMA DE ACUMULACIÓN									
Número de acumuladores solares	1								
Configuración del acumulador	vertical.								
Tipo de acumulador	interacumulador de serpiente.								
Protección contra legionelosis	en instalaciones no prefabricadas, se realizará un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el acumulador solar, de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar.								
2.- SISTEMA DE INTERCAMBIO									
Tipo de intercambiador	intercambiador incorporado al acumulador.								
2.1.- INTERCAMBIADOR INDEPENDIENTE				2.2.- INTERCAMBIADOR INCORPORADO AL ACUMULADOR					
Potencia mínima intercambiador (W):	16500,00	Superficie útil de intercambio (m ²):		4,95					
		Superficie útil intercambio serpiente		0,6					
3.- CIRCUITO HIDRÁULICO									
3.1.- CIRCUITO PRIMARIO									
Modelo de captador:		Velux CLI 4000							
Conexión de filas de captadores entre si:		paralelo.							
Conexión de captadores dentro de cada fila:		paralelo.							
Caudal recomendado (L/h/m ²):		50							
Número de captadores		15							
Equilibrado del circuito:		retorno invertido.							
Caudal total circuito primario (l/h):		1650,00							
3.2.- CIRCUITO SECUNDARIO Y TERCIARIO									
Definición del circuito secundario:		parte del interacumulador a la instalación de apoyo de energía convencional.							
Definición del circuito terciario:		no existe en esta instalación.							
Equilibrado de los circuitos cerrados:		retorno invertido							
3.3.- TUBERÍAS									
Material tuberías circuito primario:		cobre sanitario							
Material tuberías circuito secundario:		material plástico que soporte la temperatura máxima del circuito.							
Material tuberías circuito terciario:		no existe en esta instalación.							
Uniones:		roscaadas							
Protección del aislante térmico de las tuberías:		pintura asfáltica.							
3.3.1- DIMENSIONADO DEL CIRCUITO PRIMARIO									
Ida a Captadores									
TRAMO	Qe (l/h)	D (mm)	v (m/s)	L (m)	J (m.c.a./m)	J x L (m.c.a.)	λ (m.c.a.)	Pérdida carga total (m.c.a.)	
ab	1650,00	22	1,21	6,00	0,149	0,895	0,134	1,030	
bc		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
cd		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
de		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
ef		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
fg		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
gh		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
hi		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
jk		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
Material tubería ida							PERDIDA CARGA TOTAL IDA(m.c.a.)		1,030
F(cte material tubería)		0,0007							
Retorno a Captadores									
TRAMO	Qe (l/h)	D (mm)	v (m/s)	L (m)	J (m.c.a./m)	J x L (m.c.a.)	λ (m.c.a.)	Pérdida carga total (m.c.a.)	
ab	1650,00	22	1,21	6,00	0,119	0,716	0,107	0,824	
bc		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
cd		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
de		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
ef		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
fg		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
gh		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
hi		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
jk		22	0,00		0,000	0,000	0,000	0,000	
Material tubería retorno							PERDIDA CARGA TOTAL VUELTA(m.c.a.)		0,824
F(cte material tubería)		0,00056							
							PERDIDA CARGA TOTAL(m.c.a.)		1,854

Fig. 37. Dimensionado de acumulación, tuberías y bombas

3.4.- AISLAMIENTO TÉRMICO DE LAS TUBERÍAS

Diámetro exterior (mm)	Temperatura del fluido (°C)		
	40 ... 60	> 60 ... 100	>100 ... 180
D ≤ 35	25	25	30
35 < D ≤ 60	30	30	40
60 < D ≤ 90	30	30	40
90 < D ≤ 140	30	40	50
140 < D	35	40	50

Diámetro exterior (mm)	Temperatura del fluido (°C)		
	40 ... 60	> 60 ... 100	>100 ... 180
D ≤ 35	35	35	40
35 < D ≤ 60	40	40	50
60 < D ≤ 90	40	40	50
90 < D ≤ 140	40	50	60
140 < D	45	50	60

Diámetro exterior de las tuberías(mm):	D≤35
Espesor mínimo aislamiento(mm) de tuberías y accesorios que discurren por el interior de edificios:	30,00
Espesor mínimo aislamiento(mm) de tuberías y accesorios que discurren por el exterior de edificios:	40,00

3.5.- BOMBAS

3.5.1.- Bombas del circuito primario.

Número de bombas en circuito primario:	1 bomba.
Pérdida de carga en tuberías [m.c.a.]:	1,854
Pérdida de carga en el intercambiador de placas[m.c.a.]:	
Pérdida de carga en el serpentín [m.c.a.]:	0,3
Pérdida de carga por captador [m.c.a./unidad]:	0,03
Número de captadores:	15
Pérdida de carga en los captadores [m.c.a./unidad]:	0,45
Columna de fluido [m]:	3

Altura manométrica de la bomba [m.c.a.]	5,30
Caudal de la bomba [l/h]:	1650,00

3.6.- VASO DE EXPANSIÓN

3.6.1.- Vaso de expansión del circuito primario.

Volumen de fluido en las tuberías				
D (mm)	L(m)	Dí(mm)	V tubo (l/m)	V tubo (l)
12	0,00	10	0,08	0,00
15	0,00	13	0,13	0,00
18	0,00	16	0,20	0,00
22	12,00	20	0,31	3,77
28	0,00	26	0,53	0,00
35	0,00	32	0,80	0,00
42	0,00	39	1,19	0,00
54	0,00	51	2,04	0,00
64	0,00	60	2,83	0,00
76	0,00	72	4,07	0,00
Volumen total de fluido en las tuberías del circuito primario [l]:				3,77
Volumen total de fluido en el intercambiador de calor externo o Serpentín interior [l]:			(Placas)	3,00
Volumen de fluido en el captador [l/unidad]:				1,48
Número de captadores:				15,00
Volumen total de fluido en los captadores [l]:				22,20
Volumen total de fluido del circuito [l]:				28,97

Tipo de fluido caloportador:	Propilenglicol
Coficiente de dilatación del fluido caloportador:	0,04

Volumen de dilatación Vd [l]	1,25
Valor mínimo para la reserva de agua Vr [l]	0,84
Volumen de vapor Vvap [l]	22,58
Volumen útil del vaso de expansión [l] Vu	24,66

Altura columna de agua por encima del vaso de expansión [m]:	2
Presión estática, Pest, [kg/cm2]:	0,2
Presión mínima en el lado frío del circuito, Pmf, [kg/cm2]:	1,54
Presión inicial en el lado del gas del vaso de expansión, Pgas, [kg/cm2]:	1,74
Presión nominal de la válvula de seguridad, Pvs, [kg/cm2]:	6
Margen de seguridad, ΔPm, [kg/cm2]:	0,6
Presión absoluta final del vaso de expansión, Pf, [kg/cm2]:	5,4
Presión equivalente del volumen de reserva, Pvr, [kg/cm2]	0,12
Presión absoluta inicial del vaso de expansión, Pi, [kg/cm2]:	1,86
Factor de Presión, Fp	3,72

Volumen mínimo del vaso de expansión cerrado [l]	84,00
--	-------

3.7.- PURGADORES

Tipo de purgadores:	manuales
---------------------	----------

4.- DEMANDA DE ACS ANUAL A LA T ELEGIDA

$D(T) = D(60^{\circ}C) \times [60 - T_i / T - T_i]$	
D (60° C) = Demanda de ACS a la temperatura de 60 °c	1.804
Ti = Temperatura media del agua fría de red	15,6
T = Temperatura del acumulador final	45
D(45° C) = Demanda de ACS a la temperatura de 45° C	2.724

Fig. 38. Sección de aislamiento de tuberías y demanda

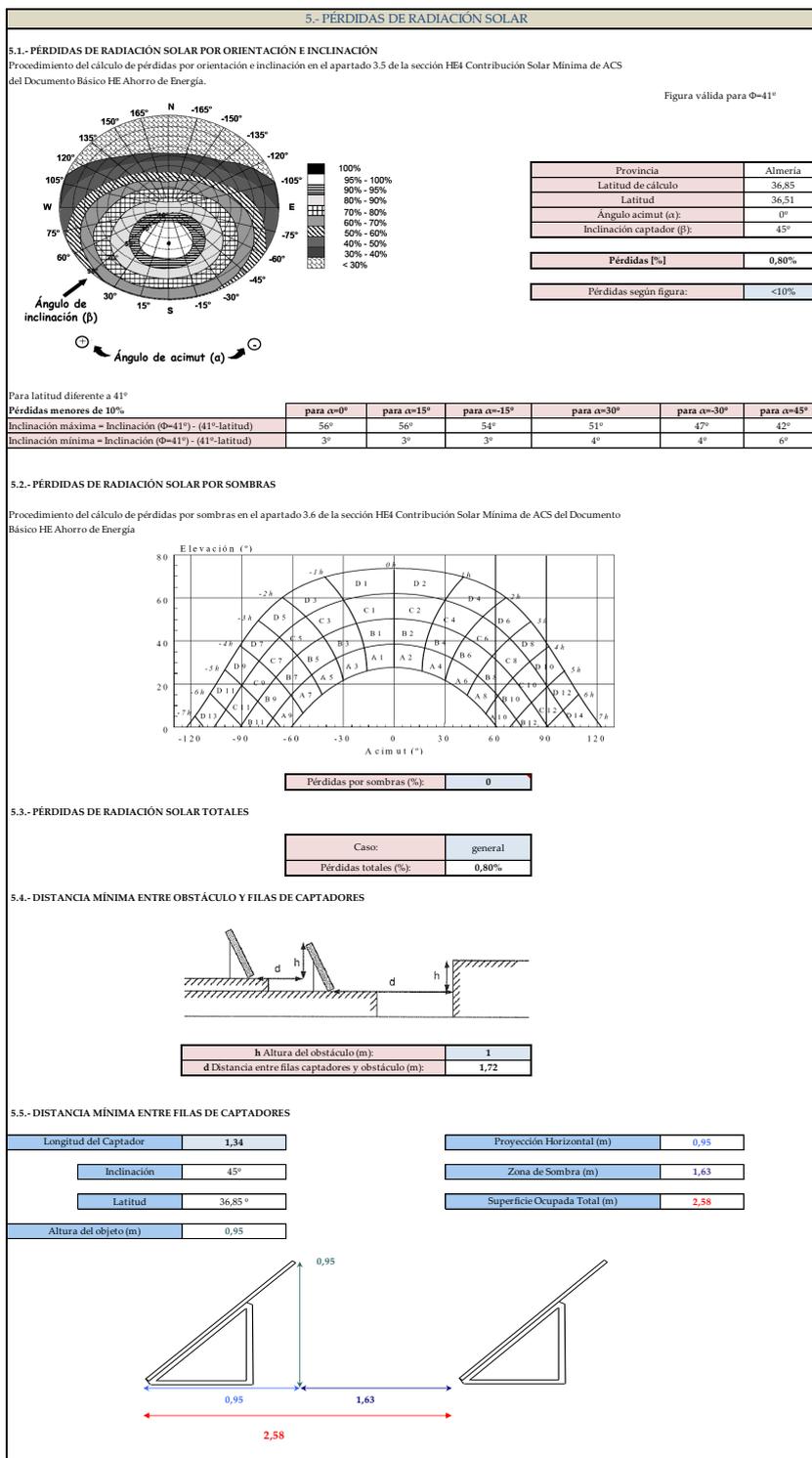


Fig. 39. Sección de cálculo de sombreado y pérdidas

El usuario, de forma automática, puede obtener una memoria técnica que expone el cumplimiento de los requisitos expuestos en el apartado del CTE sobre ahorro de energía, donde se exponen las aportaciones de EST que se deben conseguir para diferentes usos (CTE-HE4).

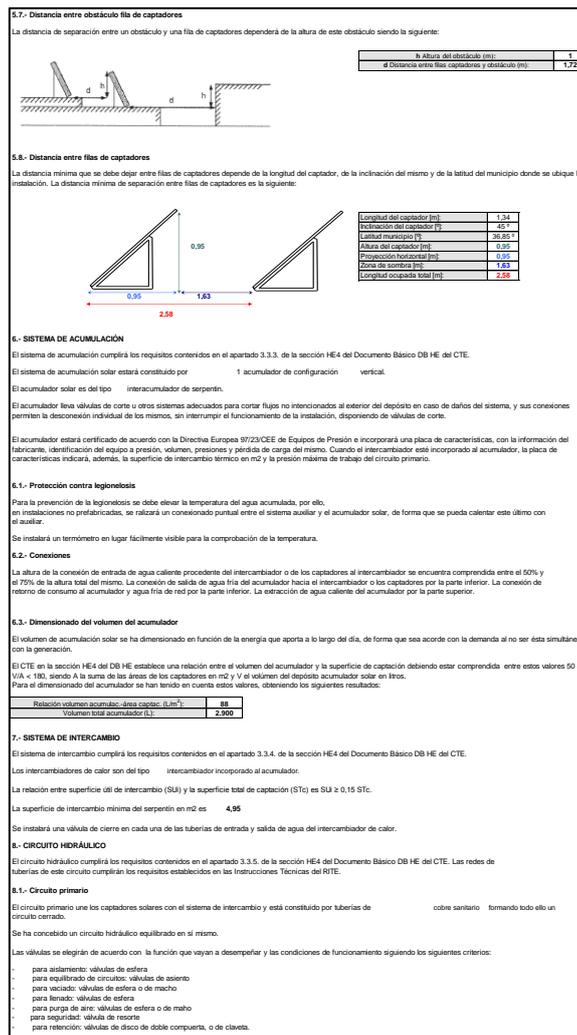


Fig. 40. Detalle de memoria técnica autogenerada

Esta funcionalidad permite que el usuario de ámbito profesional pueda adquirir habilidades reales para el diseño y posterior instalación de sistemas de EST demostrando que se constituye una herramienta de ensayo real con capacidad de dotar al usuario de conocimientos y habilidades reales de mejora de la eficiencia energética.

B. Climatización de piscina con energía solar térmica

El usuario obtiene en la herramienta la lectura del sistema de medida de consumo de energía en climatización en la piscina objeto del estudio. Con estos datos se tiene una medida real de cuál es la energía necesaria para climatizar la piscina y se tiene de este modo acceso a una herramienta de dimensionado que habilita al usuario para analizar cómo se reduciría el consumo de energía primaria mediante el uso de sistemas de energías renovables, concretamente EST. En este caso se pueden

seleccionar componentes que se encuentran en la base de datos, que es totalmente configurable y actualizable. Estos componentes se utilizarán para suministrar una aportación renovable que reducirá el consumo de energía primaria en la piscina. El usuario ejecuta un experimento basado en datos reales y adquiere capacidad de evaluación de este tipo de instalaciones así como habilidades en el diseño.

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCION DE ACS-EST. CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS																																				
Objeto																																				
Dimensionado de instalación para climatización piscina cubierta.																																				
Datos geográficos y climatológicos																																				
<table border="1"> <tr><td>Provincia:</td><td>Almería</td></tr> <tr><td>Zona Climática:</td><td>V</td></tr> <tr><td>Latitud de cálculo:</td><td>36,85</td></tr> <tr><td>Latitud [°/min.]:</td><td>36,51</td></tr> <tr><td>Altitud [m]:</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>Humedad relativa media [%]:</td><td>70,00</td></tr> <tr><td>Velocidad media del viento [Km/h]:</td><td>9,00</td></tr> <tr><td>Temperatura máxima en verano [°C]:</td><td>30,00</td></tr> <tr><td>Temperatura mínima en invierno [°C]:</td><td>5,00</td></tr> <tr><td>Variación diurna:</td><td>8,00</td></tr> <tr><td>Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):</td><td>208 (Periodo Noviembre/Marzo)</td></tr> <tr><td>Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):</td><td>208 (Todo el año)</td></tr> </table>													Provincia:	Almería	Zona Climática:	V	Latitud de cálculo:	36,85	Latitud [°/min.]:	36,51	Altitud [m]:	65,00	Humedad relativa media [%]:	70,00	Velocidad media del viento [Km/h]:	9,00	Temperatura máxima en verano [°C]:	30,00	Temperatura mínima en invierno [°C]:	5,00	Variación diurna:	8,00	Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	208 (Periodo Noviembre/Marzo)	Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	208 (Todo el año)
Provincia:	Almería																																			
Zona Climática:	V																																			
Latitud de cálculo:	36,85																																			
Latitud [°/min.]:	36,51																																			
Altitud [m]:	65,00																																			
Humedad relativa media [%]:	70,00																																			
Velocidad media del viento [Km/h]:	9,00																																			
Temperatura máxima en verano [°C]:	30,00																																			
Temperatura mínima en invierno [°C]:	5,00																																			
Variación diurna:	8,00																																			
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	208 (Periodo Noviembre/Marzo)																																			
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	208 (Todo el año)																																			
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual																							
Tª. media ambiente [°C]:	12,40	13,00	14,40	16,10	18,70	22,30	25,50	26,00	24,10	20,10	16,20	13,30	18,5																							
Tª. media agua red [°C]:	8,00	9,00	11,00	13,00	14,00	15,00	16,00	15,00	14,00	13,00	11,00	8,00	12,3																							
Rad. horiz. [kJ/m²/día]:	9,720	12,623	15,951	19,968	24,132	26,140	26,470	23,681	19,066	14,279	10,525	8,844	17,617																							
Rad. inclin. [kJ/m²/día]:	17,497	18,793	19,212	19,501	20,344	20,470	21,287	21,646	21,225	16,846	17,994	16,778	19,300																							
ORIGEN DE LOS DATOS:	Código Técnico de la Edificación																																			
ORGANISMO:	INM. Instituto Nacional de Meteorología																																			
Datos de consumo relativos a las necesidades energéticas																																				
<table border="1"> <tr><td>Ubicación de la piscina [Interior/Exterior]:</td><td>Exterior</td></tr> <tr><td>Superficie de la piscina [m²]:</td><td>153</td></tr> <tr><td>Volumen de la piscina [m³]:</td><td>273</td></tr> <tr><td>Humedad relativa [%]:</td><td>60</td></tr> </table>													Ubicación de la piscina [Interior/Exterior]:	Exterior	Superficie de la piscina [m²]:	153	Volumen de la piscina [m³]:	273	Humedad relativa [%]:	60																
Ubicación de la piscina [Interior/Exterior]:	Exterior																																			
Superficie de la piscina [m²]:	153																																			
Volumen de la piscina [m³]:	273																																			
Humedad relativa [%]:	60																																			
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual																							
Temp. deseada [°C]:	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26																							
Temp. ambiente [°C]:	12,4	13	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26	24,1	20,1	16,2	13,3	18,5																							
% de tiempo sin manta:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100																							
Datos del Captador																																				
Curva de rendimiento del captador: $r = 0,79 - 3,756 \cdot (t_e - t_a) / I_t$																																				
t _e :	Temperatura de entrada del fluido al captador																																			
t _a :	Temperatura media ambiente																																			
I _t :	Radiación en [W/m²]																																			
Tipo de captador	captadores planos.																																			
Modelo de captador:	Velux CLI 4000																																			
Superficie captador [m²]:	2,2																																			
Factor de eficiencia óptico:	0,79																																			
Coefficiente global de pérdida [W/(m²·°C)]:	3,756																																			
Caudal en circuito primario [(L/h)/m²] - [(Kg/h)/m²]:	75,00																																			
Caudal en circuito secundario [(L/h)/m²] - [(Kg/h)/m²]:	50																																			
Selección fluido en el primario	Agua + 40 % Etilenglicol																																			
Calor específico en circuito primario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,89																																			
Calor específico en circuito secundario [Kcal/(Kg·°C)]:	0,9																																			
Eficiencia del intercambiador:	0,75																																			

Fig. 41. Detalle de entrada de datos del sistema solar para piscina

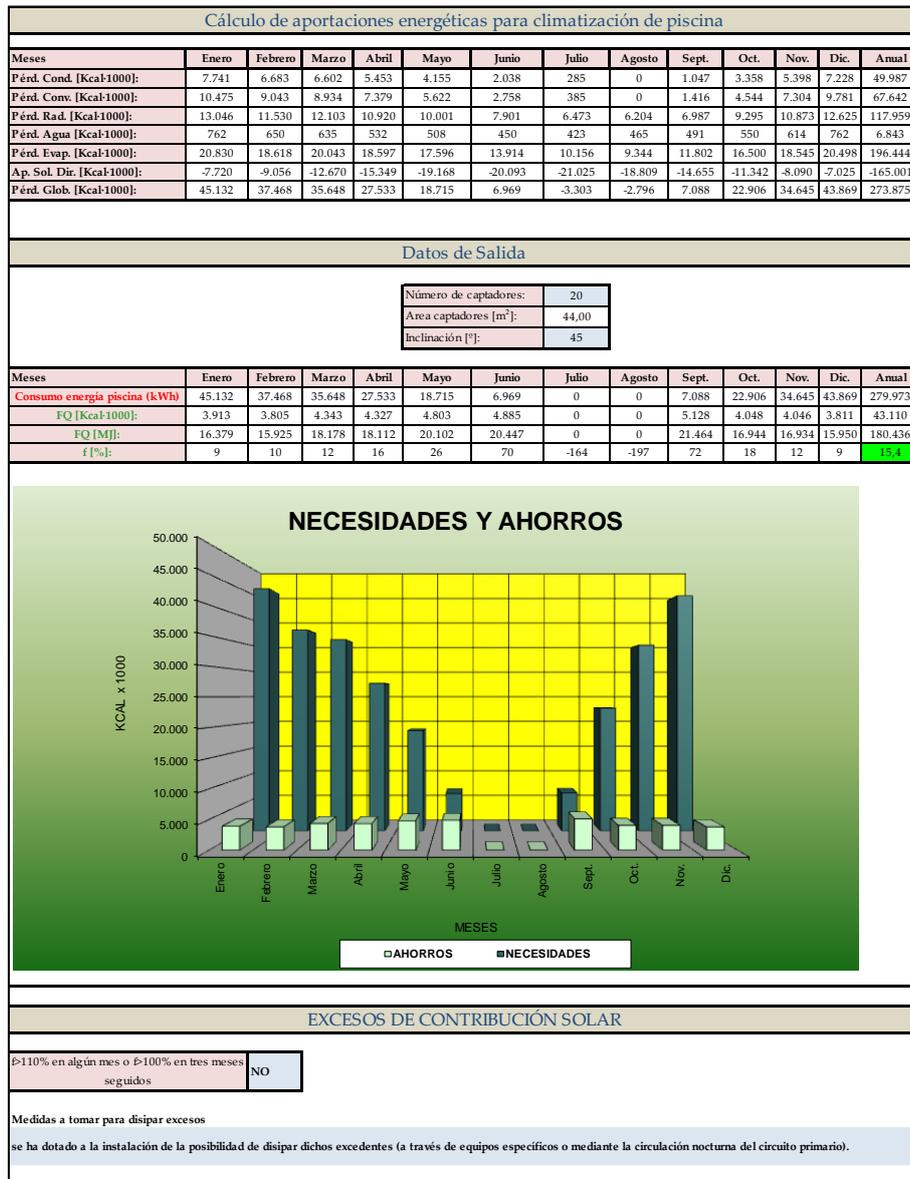


Fig. 42. Resultados evaluación energética para la piscina

5.1.2.2. Conclusiones y desarrollos futuros

Dentro de las acciones a llevar a cabo y a desarrollar para la mejora de la eficiencia energética en el sector de la edificación es imprescindible aumentar el papel de la EST como fuente primaria de generación de ACS y como sistema utilizado para la climatización de piscinas. Para ello es necesario formar profesionales con capacidades de evaluación y diseño de estas tecnologías pero basándose en un método que permita al usuario comprobar, en base a datos y mediciones reales, cuáles son los beneficios y características propias de estos sistemas. El experimento propuesto permite incorporar al laboratorio remoto tantas instalaciones como edificios se deseen monitorear y de este modo se pueden realizar experimentos con un amplio abanico de características y con un elevado potencial docente orientado a la adquisición de habilidades reales.

Esta herramienta puede ser utilizada en acciones de formación y concienciación ya que el docente puede mostrar, de forma sencilla, cuál es el beneficio obtenible de la instalación de estas tecnologías. El incremento futuro de los sistemas BMS y de telegestión de instalaciones térmicas permitirá ampliar las capacidades del laboratorio, incluir nuevos desarrollos y facilitar el acceso desde nuevas plataformas.

5.1.3. Sistemas de Absorción de triple estado tipo LiCl-H₂O con alimentación solar y disipación en piscina integrados en edificación

El laboratorio remoto, tal y como se ha planteado en este documento, presenta una amplia funcionalidad y puede utilizarse para la realización de experimentos avanzados y como herramienta de investigación. En este experimento el usuario del laboratorio tiene acceso, mediante un sistema de telegestión con tecnología GPRS / GSM, a las mediciones de una instalación experimental de absorción alimentada con energía solar térmica e integrada en edificación y con un innovador sistema de disipación basado en piscina exterior que permite evitar la instalación de una torre de enfriamiento convencional para la condensación de la máquina. A partir de estas lecturas se ha desarrollado una herramienta de tratamiento de los datos que permite analizar cuáles son los valores reales de rendimiento obtenidos, analizar el comportamiento del sistema de EST que alimenta la máquina, diseñar estrategias de mejora y analizar los beneficios ambientales y los parámetros económicos y financieros de estos sistemas.

En la Tabla 44 se muestran los principales parámetros del experimento sobre sistemas de EST para alimentación de máquinas de absorción para la producción de

frío en pequeñas viviendas unifamiliares, campo de una gran relevancia en España pero también en todo el sur de Europa y en países con condiciones climáticas y de radicación similares.

Tabla 44. Experimento sobre sistemas de absorción de triple estado

Destinatarios	Alumnado universitario nivel doctorado Experimentación e I+D+i Profesionales en activo en el ámbito de la ingeniería y arquitectura	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de telegestión comercial con acceso mediante tecnología GPRS/GSM o IP
	Futurible	Sistema de telegestión basado en tecnología PLC y acceso mediante dispositivos portátiles y móviles con alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja de cálculo. Modelo en TRNSYS	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de una herramienta de experimentación y de análisis de rendimiento de sistemas de EST para producción de frío mediante sistemas de absorción de triple estado</p> <p><u>Proporcionar</u> una herramienta que permita conocer y medir el rendimiento real de estas instalaciones en función de las condiciones exteriores, consignas, parámetros de funcionamiento y otras variables</p> <p><u>Concienciar</u> de la existencia de tecnologías que pueden proporcionar una solución para el enfriamiento en pequeños edificios sin necesidad de recurrir a tecnologías tradicionales</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p> <p>Investigación autónoma o en equipo</p>	

Sistemas de Absorción de triple estado tipo LiCl-H₂O con alimentación solar y disipación en piscina integrados en edificación.

Formación universitaria Doctorado e investigación.

Sector residencial.

Hoja de cálculo y sistema en TRNSYS.

Resumen de objetivos del experimento.

El usuario del experimento puede realizar simulaciones, análisis y evaluar el rendimiento de una instalación experimental para la climatización de pequeños edificios mediante energía solar térmica y máquina de absorción. El sistema

posteriormente se accede a los mismos para su tratamiento y análisis. El usuario dispone de una herramienta para analizar el rendimiento de la instalación en diferentes condiciones y puede proponer acciones de mejora

El usuario accede a los datos de una instalación real que cuenta con un sistema de absorción solar de triple estado y analiza los parámetros de rendimiento real del sistema.

cuenta con un innovador método de disipación de calor basado en una piscina exterior. Este sistema evita la instalación de una torre de enfriamiento convencional y por lo tanto facilita en gran medida la integración de tecnologías de tipo solar-absorción en edificios. Los datos sobre todos los parámetros energéticos relevantes son registrados en una base de datos y

para el rendimiento, analizar la influencia de parámetros térmicos, niveles de ocupación o cualquier otra condición de contorno.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza un protocolo de lectura y acceso a los registros basado en GPRS / GSM y protocolo IP. Dicho sistema permite un acceso remoto y desde cualquier ubicación al sistema de telegestión de la instalación de EST y del sistema de frío solar. Todos estos datos son almacenados para posteriormente proceder a su análisis mediante las herramientas desarrolladas en este experimento del laboratorio remoto.

5.1.3.1. Sistema de cálculo y descripción de la herramienta

El usuario puede acceder a las lecturas de los equipos que registran parámetros como caudales, temperaturas, niveles de radiación etc. y mediante la herramienta de análisis propuesta calcular cuáles son los rendimientos reales obtenidos, analizar las causas que dan origen a esos valores y proponer medidas que mejoren esos resultados.

Se ha realizado un ensayo de un sistema real a partir de los datos recopilados y analizado los parámetros de rendimiento y las variables económicas y financieras de la solución de modo que se muestran los resultados a modo de prueba y se valida además la capacidad de la filosofía y del sistema de trabajo propuesto para la realización de actividades de enseñanza pero también de investigación.

Un sistema de absorción de triple estado tipo LiCl-H₂O con una potencia de 10 kW y alimentado con energía solar térmica se ha diseñado e instalado en una vivienda unifamiliar en España. El sistema de disipación de calor es mediante una piscina, lo que evita la instalación de una torre de enfriamiento. El sistema está alimentado con una superficie colectora de 35,54 m² y se ha monitorizado el comportamiento del sistema durante un año. Estos datos son los que posteriormente se han utilizado para la realización de los cálculos y la elaboración de las pertinentes conclusiones. El sistema podría incorporarse al sistema de ensayos del laboratorio remoto al igual que cualquier otra tecnología, demostrando de este modo su versatilidad y capacidad. Se presenta la fase de diseño y el cálculo de las necesidades térmicas, se comparan los valores de Coefficient of Performance (COP) y las temperaturas esperadas con las obtenidas. Al contar con datos reales y analizándolos se demuestra que los valores reales de rendimiento son algo inferiores a los simulados. El experimento ha validado la posibilidad de utilización de la piscina como foco de disipación. En el aspecto económico se comprueba que el Periodo de Retorno de la Inversión (PR) alcanza valores de 12,45% obteniéndose reducciones de emisiones de GEI del 68%. Se demuestra que estos sistemas permiten aportar un gran valor añadido a la energía solar térmica y evitan problemas de sobretemperatura en verano.

5.1.3.2. Justificación de la solución tecnológica. Marco de referencia e introducción

El consumo energético mundial está creciendo durante los últimos años como consecuencia del aumento de la población y de la demanda energética en los países

emergentes. La incipiente y duradera crisis económica mundial ha provocado un estancamiento en el crecimiento de la demanda energética en algunos países de Europa (CEC, 2010) pero el elevado coste energético provoca que aumente la falta de competitividad en estos países y se agrave la situación económica. España está inmersa en una profunda crisis económica y sus consecuencias energéticas están siendo también importantes y graves. España y Europa en general están llevando a cabo un ambicioso plan para la reducción de su dependencia energética exterior mediante la implantación de energías renovables. A pesar de ello gran parte de las fuentes energéticas siguen siendo fósiles y especialmente gas natural.

La nueva directiva Europea que fija el ambicioso plan 20-20-20 (20% de energía final de origen renovable, aumento un 20% de la eficiencia energética y disminución en un 20% de las emisiones de GEI) fijado por la Directivas Europeas en la materia (CEC, 2009) al que se ha hecho mención en los apartados anteriores, sirve de empuje para la introducción de nuevos sistemas energéticos que no sólo estarán basados en las energías renovables sino que también centran su esfuerzo en la mejora continua de la eficiencia energética.

Es en este sector donde existe un importante potencial de mejora en el ámbito de la edificación. Los edificios de tipo residencial presentan un elevado consumo energético que supone el 17,0% de la energía primaria consumida en España frente a valores del 9,9% para el sector servicios. Lo elevado de esta cifra obliga a que se deban buscar vías de reducción de este consumo mediante la combinación de técnicas de reducción de demanda energética y debe progresarse además hacia suplir esa demanda energética con fuentes de energías renovables (IDAE, 2011b).

El consumo de energía eléctrica final para refrigeración de edificios en España supone el 11,1% del total del consumo siendo el 98% de este consumo correspondiente al sector terciario. A pesar de ello la potencia instalada en los hogares en sistemas de refrigeración es de 4.500 MW. Esta potencia instalada genera importantes emisiones de GEI y supone un problema de estabilidad para el sistema eléctrico de potencia ya que su uso es muy estacional y prácticamente coincidente en tiempo para todos los equipos instalados.

Según datos de la patronal de fabricantes de equipos de climatización (AFEC) existen en España unos 3 millones de hogares (AFEC, 2011) que cuentan con sistemas de aire acondicionado. El 100% de estos sistemas son de tipo ciclo de compresión de vapor (CCV) y presentan una potencia instalada media de 2 kW eléctricos, suficiente para una pequeña vivienda. Los hogares de tipo unifamiliar presentan una potencia

térmica de refrigeración instalada media de entre 10 kW y 15 kW. Por sus características, tipología constructiva y superficie disponible para la instalación de colectores solares, son susceptibles de la implantación de sistemas de ciclo de absorción de vapor (CAV) alimentados de forma exclusiva con energía solar térmica. Los equipos CAV, a diferencia de los sistemas CCV, están alimentados con energía térmica que proviene en este caso de una fuente solar. El consumo eléctrico de estos sistemas es mínimo y se limita a los sistemas de bombeo internos lo que reduce notablemente la potencia eléctrica instalada y el consumo energético asociado. Además los sistemas CAV no utilizan ningún refrigerante de tipo hidroc fluorocarburo (HCFC) y por lo tanto no contribuyen a la destrucción de la capa de ozono ni al aumento del efecto invernadero. Estas ventajas hacen la inversión interesante desde el punto de vista energético y medioambiental aunque existen problemas de integración de la tecnología en las viviendas, especialmente en el aspecto de la disipación de calor. En este experimento se realiza un estudio de una instalación real con un sistema CAV de triple estado (LiCl-H₂O) alimentado de forma completa con EST, integrado en una vivienda y utilizando la piscina como foco de disipación térmica. Existen revisiones del estado del arte en tecnología solar para absorción pero se centran en los sistemas de tipo LiBr-H₂O. No existen estudios experimentales del rendimiento de los sistemas de tipo LiCl- H₂O. Con la herramienta diseñada a este fin y a partir de los datos recogidos por el sistema de telegestión y control de la instalación el usuario analiza el COP real de la instalación durante su operación en los meses de verano y puede comprobar cuál es la variación observada frente al COP previsto. Además y en base a los resultados el usuario evalúa la factibilidad de integración en de esta tecnología en viviendas y puede analizar las áreas de mejora detectadas.

5.1.3.3. Elección de la tecnología y diseño del sistema

En este apartado se analiza la fase de elección de la tecnología, el cálculo de la potencia necesaria para el equipo y la instalación del sistema en el edificio que se llevó a cabo y que posteriormente se incorporó a la infraestructura de ensayos del laboratorio remoto.

Las viviendas unifamiliares poseen posibilidades para la integración de forma sencilla de energía solar térmica mediante la colocación de colectores solares térmicos en la cubierta de la vivienda. Estos colectores solares térmicos deben utilizarse al menos, según la normativa española, para aportar un porcentaje de la necesidad energética de ACS y pueden también ser utilizados para aportar energía térmica al

sistema de calefacción. Se ha mostrado anteriormente un experimento integrado en el laboratorio orientado a la realización de ensayos y simulaciones sobre el uso de EST para la generación de ACS.

La tecnología solar térmica es ampliamente utilizada para este fin en viviendas unifamiliares en España y Europa pero su utilización para refrigeración es prácticamente nula a excepción de sistemas de demostración. La implantación de sistemas de energías renovables para refrigeración en pequeñas viviendas está también empezando a extenderse mediante el uso de energía geotérmica de muy baja entalpía con bomba de calor geotérmica.

El uso de la energía solar térmica para el funcionamiento de máquinas de tipo CAV permite, además de las importantes ventajas medioambientales asociadas, rentabilizar la instalación solar térmica y generar un valor añadido ya que sirve como elemento que se acopla a la generación solar típica a lo largo del año. Las máximas producciones de energía solar térmica corresponden a los meses en los que la demanda de ACS es menor y en los que no existe necesidad de uso de calefacción. Esto provoca que no sea posible lograr grandes aportaciones para calefacción ya que el elevado sobredimensionado necesario provocaría excesos de temperatura durante los meses de verano. Las variables económicas y de rentabilidad del proyecto serían además mucho peores ya que la instalación presentará un elevado coste para un número de horas de uso al año muy bajo. El uso de sistemas de absorción permite dimensionar la instalación pensando en un uso constante a lo largo del año y evita el consumo de energía eléctrica durante los meses de verano, lo que hace que la amortización de la instalación sea menor y mejora los parámetros ambientales.

Las máquinas CAV típicamente utilizadas y referenciadas en la bibliografía son de tipo LiBr-H₂O y su uso en pequeñas viviendas es sólo a nivel experimental debido a que no existen máquinas de pequeñas potencias que sean competitivas comercialmente. Además de estas limitaciones de tipo comercial existen problemas por la integración de estos sistemas en este tipo de vivienda ya que es necesaria la presencia de un sistema de condensación o sumidero térmico (ST) que obligaría a la instalación de una torre de enfriamiento (TE). La colocación de una TE en una pequeña vivienda unifamiliar presenta evidentes problemas estéticos, normativos y de mantenimiento, haciendo que esta opción no sea valorada dentro del abanico tecnológico existente.

Además de estas características la generación de EST varía a lo largo del día y no existe un acoplamiento entre generación de calor y necesidad de refrigeración, lo que

obliga a acumular energía para esos momentos en que no hay generación solar térmica. La forma de aprovechamiento utilizada de forma única en estos sistemas es mediante el uso de tanques de inercia que acumulan el agua caliente de modo que la máquina posee un reservorio energético. Esta necesidad de acumulación es elevada y supone la colocación de grandes depósitos que son además demasiado grandes para su uso en los meses de invierno, generando por lo tanto un sobre coste añadido.

Como alternativa a estas tecnologías se apuesta por la implantación, en esta instalación piloto, de un sistema de tipo LiCl-H₂O, que es un sistema de absorción de triple estado. A diferencia de los sistemas de LiBr-H₂O el fluido de trabajo LiCl-H₂O trabaja en los tres estados de agregación de la materia permitiendo almacenar energía en forma de energía química en la sal sólida. Esta capacidad de almacenamiento unida a las características del equipo elegido, que cuenta con dos barriles de trabajo en paralelo, permite la acumulación de energía interna para su uso durante los momentos de déficit de generación de EST. Los sistemas de absorción requieren de un foco de disipación térmica que actúe como sumidero térmico. La instalación de TEs en pequeñas viviendas no es fácilmente viable, tanto por causas estéticas como normativas. La existencia de una piscina exterior permite su utilización como sistema de disipación sin elevar los costes de instalación y aporta un valor añadido al calor disipado. En las épocas intermedias del año el calor disipado permite alargar la temporada de baño. En la ubicación estudiada las bajas temperaturas nocturnas hacen que el uso efectivo de la piscina exterior sea durante muy pocos meses, mientras que con el uso del calor residual esta temporada se puede alargar.

Un sistema de absorción alimentado con energía solar térmica consta de un evaporador, un condensador, un generador y el fluido de trabajo que realiza un ciclo termodinámico. El sistema de triple estado de este ensayo utiliza LiCl-H₂O como fluido de trabajo, lo que le diferencia de los sistemas tradicionales con LiBr-H₂O. En una máquina de absorción de tipo LiBr-H₂O en ningún momento existe el estado sólido de la sal ya que implicaría la destrucción de la propia máquina. En la Fig. 43 se muestra un esquema de un sistema CAV de tipo LiCl-H₂O. La tecnología con fluido de trabajo LiCl-H₂O fue patentada en el año 2000 (Olson et al., 2000) y presenta un elevado potencial para su uso en instalaciones en viviendas utilizando la EST como fuente de alimentación ya que trabaja con los tres estados de agregación, lo que permite acumular energía interna en la sal en forma sólida. Esta capacidad interna de acumulación posibilita la generación de frío en ausencia de radiación solar, lo que facilita el acoplamiento entre la generación de frío y la demanda efectiva.

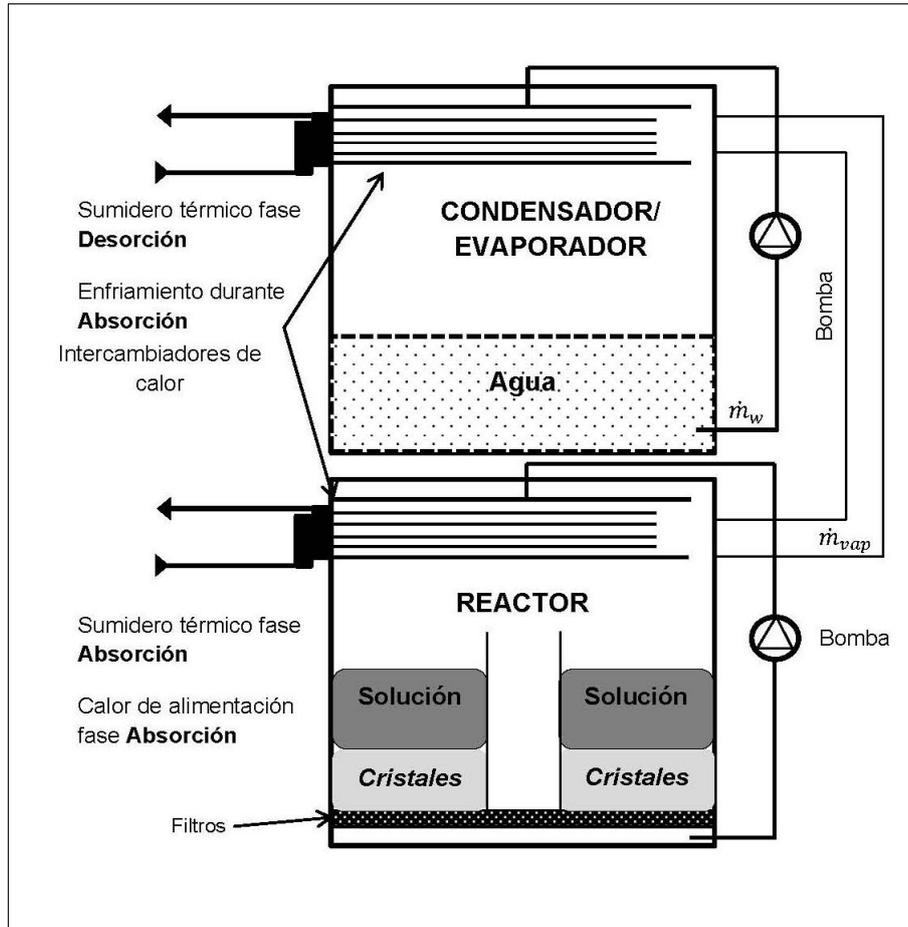


Fig. 43. Esquema de sistema de tipo LiCl-H₂O

Un sistema de absorción trabaja con cuatro focos térmicos que están caracterizados por su temperatura. El evaporador, T_{ev} , el absorbedor, T_{abs} , el condensador, T_{con} , y el generador, T_{gen} , Fig. 44. La alimentación térmica al sistema se produce en el generador, siendo en la instalación de estudio proporcionada exclusivamente por energía solar térmica. La temperatura de los focos de disipación de calor, absorbedor y evaporador, viene determinada por la temperatura del agua de la piscina. Debido a la capacidad de almacenamiento energético interno en forma de energía química el sistema se puede clasificar como un equipo de acumulación termoquímica (Conde, 2004). El proceso es cerrado y se lleva a cabo en un proceso por lotes y durante el mismo el fluido de trabajo presenta fase líquida, sólida y vapor. El funcionamiento por lotes permite que, mediante la utilización de dos barriles o equipos de enfriamiento, se pueda proporcionar una producción de frío continua. Durante el proceso de carga de uno de los barriles el otro se encuentra en proceso de descarga o producción de frío.

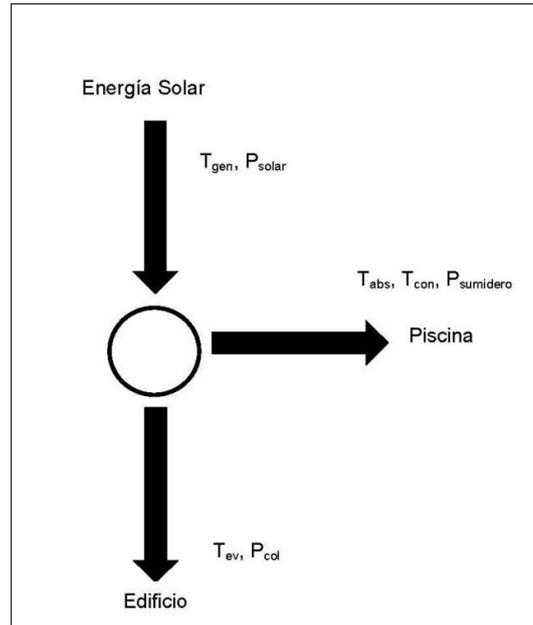


Fig. 44. Focos de intercambio térmico del sistema de absorción

En la Fig. 45 se muestra el esquema interno de la máquina instalada durante los procesos de desorción (fase 1) y de absorción (fase 2). En el sistema hay 4 recipientes donde se lleva a cabo el proceso, dos de los cuales son contenedores de sal y agua y los otros dos son donde se lleva a cabo la reacción. Los dos contenedores activos son el generador, que actúa como absorbedor/desorbedor, y el condensador/evaporador (Nordlander and Bales, 2007a). Todos los componentes operan bajo condiciones de vacío. El proceso se lleva a cabo en dos fases diferenciadas de carga (desorción) y de descarga (absorción). Durante la fase 1 (carga) la solución llega al punto próximo a la saturación y la solución de trabajo (\dot{m}_{sol}) y el refrigerante (\dot{m}_w) se bombean desde los reservorios sobre los intercambiadores. Por gravedad son recogidos en de nuevo en los reservorios. El vapor producido como consecuencia del intercambio de calor se transfiere a la unidad condensadora/evaporadora (\dot{m}_{vap}). En esta fase 1 la solución llega a su punto de saturación y se comienzan a formar cristales que se depositan en el fondo del contenedor y son transferidos hasta el reservorio de la sal. El intercambio térmico exterior en esta fase se produce con los colectores solares térmicos (\dot{m}_1, T_1) y el calor de condensación se transfiere a la piscina que actúa como ST (\dot{m}_3, T_3).

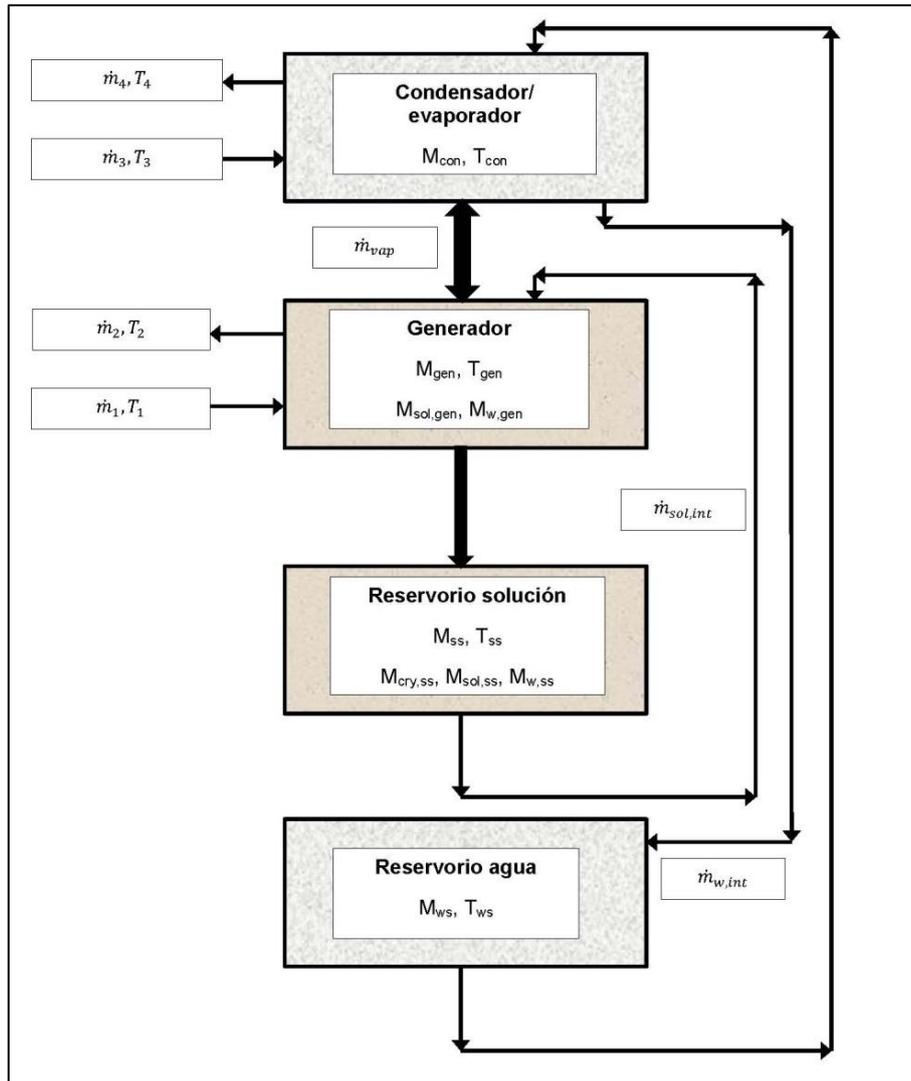


Fig. 45. Esquema interior del sistema de absorción tipo LiCl-H₂O

En los cristales sólidos se ha almacenado energía que puede ser posteriormente utilizada en ausencia de radiación solar (Nordlander and Bales, 2007b). En la fase 2 es donde se produce el efecto útil de refrigeración. La solución ya saturada (\dot{m}_{sol}) se bombea sobre el intercambiador de calor y se produce la absorción del refrigerante que se ha evaporado en el evaporador (\dot{m}_{vap}). El calor de evaporación procede de la extracción de calor del edificio a refrigerar (\dot{m}_3, T_3). Tras este intercambio térmico la solución ya no está saturada y al ponerse en contacto con los cristales de sal estos se disuelven y vuelven a saturar la solución. El proceso de absorción se mantiene mientras existen cristales sólidos de sal. El calor que es necesario disipar en el proceso es conducido a la piscina (\dot{m}_1, T_1) a través de intercambiador de calor.

Como la máquina cuenta con dos unidades una está realizando la fase 1 mientras la otra realiza la fase 2, asegurando la generación continuada de frío. La vida útil para este tipo de sistemas de absorción es, para un uso continuado, de 20 años.

- Edificio de ubicación

La vivienda donde se ha instalado el sistema de absorción se encuentra situada en León, España, y cuenta con un sistema de alimentación solar térmico constituido por un campo de colectores solares para generación de ACS, apoyo a calefacción y generación de frío por absorción. En la Tabla 45 se presentan los valores climáticos más representativos para León.

Tabla 45. Parámetros climáticos de la ubicación

Latitud 42.6° N Longitud -5.6° E Altitud 847 m	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar horizontal superficie	Presión atmosférica	Velocidad viento	Temperatura terreno	Grados día de calefacción	Grados día de refrigeración
Mes	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	3,5	83,2%	1,70	93,3	5,1	3,4	450	0
Febrero	4,5	78,5%	2,65	93,3	4,8	4,8	377	0
Marzo	7,6	66,0%	3,88	93,1	4,9	8,7	321	0
Abril	9,5	62,7%	4,76	92,8	4,7	11,4	256	0
Mayo	13,5	56,4%	5,68	92,9	4,2	16,4	139	109
Junio	17,8	50,8%	6,70	93,1	3,8	21,6	5	235
Julio	20,0	50,6%	6,92	93,2	4,1	24,0	0	311
Agosto	20,0	52,3%	5,99	93,1	3,9	23,5	0	311
Septiembre	17,2	57,0%	4,57	93,1	3,8	19,4	25	215
Octubre	12,6	67,3%	2,78	93,0	4,3	13,5	166	82
Noviembre	7,6	78,9%	1,89	93,0	4,7	7,7	313	0
Diciembre	4,7	83,4%	1,46	93,2	5,0	4,5	412	0
Año	11,6	65,5%	4,09	93,1	4,4	13,3	2.464	1.263

El edificio ha sido construido acorde a la normativa española para la limitación de la demanda energética en los edificios contemplada en el CTE (Micyt, 2007). Esta normativa establece unos requisitos de demanda energética máxima del edificio en función de su ubicación dentro del territorio español y el tipo de uso. Debido a la gran variabilidad climática entre unas y otra zonas de España existen importantes diferencias entre las demandas energéticas para calefacción y refrigeración. El edificio tiene una superficie útil de 96 m² y un volumen construido de 259,2 m³. Para la determinación del cumplimiento de la normativa en materia de necesidades energéticas del edificio se realizó una simulación energética mediante el programa de

verificación de la normativa LIDER (CTE, 2007). Este software verifica y calcula la demanda energética del edificio para posteriormente proceder al etiquetado energético del mismo mediante el software CALENER, basado en el motor de cálculo DOE 2.2. El etiquetado o certificación energética del edificio permite obtener las emisiones de CO₂ del edificio por m² y año, parámetro a partir del que se le otorga una etiqueta. Los requerimientos para la limitación de la demanda energética incluyen los valores de transferencia térmica global U (W/m²K) para los cerramientos, la verificación del cumplimiento de la ausencia de condensaciones en cerramientos y restricciones de permeabilidad en los huecos no opacos. En la Tabla 46 se recogen las principales características constructivas del edificio objeto de la instalación.

Tabla 46. Características constructivas

Características dimensiones	Sistema de climatización	Envolvente térmica
Superficie útil 96 m ² Volumen útil 259,2 m ³ Inercia térmica media 24 MJ/K	VENTILACION Modo estándar:(1/h): 1 (siguiendo requisitos de salubridad) GANANCIAS INTERNAS: 4,87 W/m ² CONSIGNAS DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN Modo confort (°C): 20 Modo reducido (°C): 18 COSIGNAS DE TEMPERATURA FRÍO Modo confort (°C): 25 (según RITE) SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR: suelo radiante: 660 W/K y 1.030 kg/h TANQUE DE AGUA (ACS): 0,35 m ³ TANQUE DE CALEFACCIÓN (CALOR): 0,7 m ³ DIMENSIONES PISCINA: 96 m ² -0,38 m ³	Coeficiente global de transmisión de calor U (W/m ² K) Cerramientos opacos: 0,74 Cerramientos no opacos: 3,1 Cubierta: 0,36 Suelos: 0,62 Factor solar no opacos: 0,62

- Cálculo de la demanda energética y diseño del sistema de climatización

El cálculo de la demanda energética se ha realizado mediante una simulación horaria basándose en el método de cálculo EnergyPlus (EnergyPlus, 2010). Para las características climáticas de la ubicación se utiliza el fichero climático en formato TMY2 y una vez comprobado que los cerramientos y materiales verifican la normativa española se introdujeron los datos geométricos y de materiales mediante la interfaz Google SketchUp (Google, 2011). Se zonificó el edificio, destinado a uso residencial, y se introdujeron los datos de parámetros de ocupación, ganancias internas, infiltraciones y sistemas de ventilación. Para la simulación se utilizó una frecuencia de cálculo horaria (h⁻¹) obteniéndose las demandas de energía primaria que se muestran en la Tabla 47.

Tabla 47. Demanda de energía anual y emisiones de GEI

Demanda anual	CALOR	ACS	FRÍO	Total
Demanda térmica anual (kWh)	6.913	1.810	3.619	12.342
Demanda térmica específica anual (kWh/m ²)	70,54	18,47	36,93	126
Emisiones de CO ₂ (kg)	1,687	442	1.173	3.301
Emisiones CO ₂ específicas (kg/m ²)	17,21	4,51	11,96	33,68
Demanda energía (kWh)	7.054	2.351	1.810	11.214

La legislación española obliga a la instalación de sistemas de generación de ACS mediante energía solar térmica, tal y como se ha explicado en anteriores experimentos. Para cada zona climática y tipología del edificio se exige una aportación mínima de ACS solar. Según esta normativa y para la ubicación del edificio y sus características de ocupación se debe cubrir en este caso una aportación mínima del 50%. Se presenta en la Tabla 48 las necesidades de ACS y su aportación solar mínima, cálculo realizado con la herramienta diseñada a tal fin. En este caso y teniendo en cuenta que la instalación solar se dimensiona para aportar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema de absorción se logra cubrir el 100% de la demanda de ACS mediante energía solar térmica.

Tabla 48. Demanda de ACS

Demanda de ACS
Habitaciones: 3 habitaciones Ocupación: 4 personas Demanda ACS (según el CTE): 132 l/día CONTRIBUCIÓN MÍNIMA: 50% CONTRIBUCIÓN REAL: 100% para el año completo TEMPERATURA: 60 °C

La generación térmica para calefacción y ACS se lleva a cabo mediante una caldera de gas natural de condensación con un rendimiento, referido al poder calorífico inferior (PCI), del 104%. Este sistema proporciona elevados valores de rendimiento utilizando como combustible gas natural (GN). El sistema de energía solar térmica se utiliza en los meses de invierno para proporcionar apoyo mediante energía renovable al sistema de calefacción y para la generación de ACS. El sistema de energía solar térmica consta de una batería de paneles solares de tipo plano con curva de eficiencia reflejada en la Fig. 46 para una radiación estándar de 1000 W/m². El rendimiento del colector solar viene dado por (4).

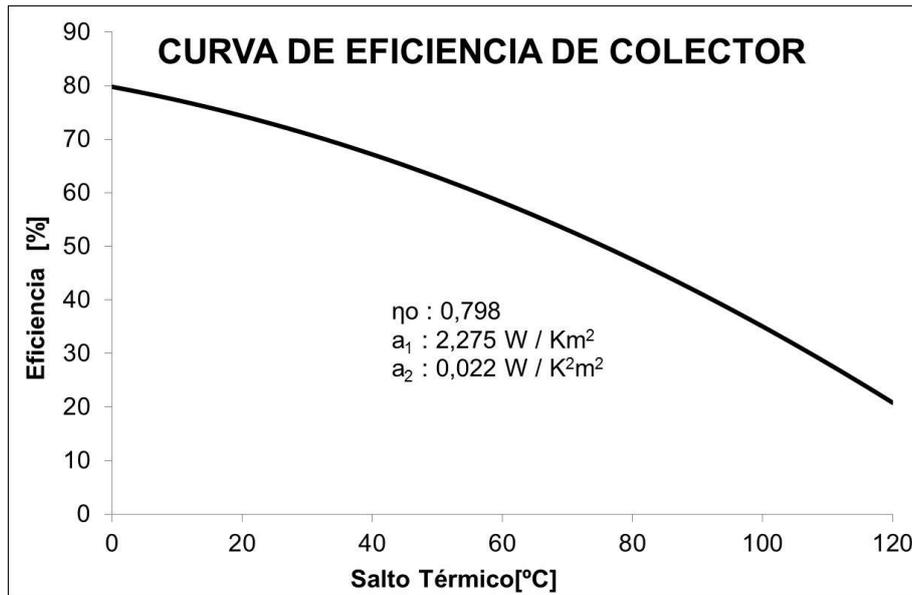


Fig. 46. Curva de rendimiento del colector solar

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_{w,col} - T_{ext}}{I} - a_2 \frac{(T_{w,col} - T_{ext})^2}{I} \quad (4)$$

Los colectores solares tiene un valor $\eta_0 = 0,833$ y los coeficientes de pérdidas son $a_1 = 3,66$ y $a_2 = 0,0169$ (Viessmann, 2009). La superficie colectora total es de $35,54 \text{ m}^2$ y la generación energética fue calculada para los datos TMY2 de la ubicación, León. El sistema de distribución es de tipo suelo radiante/refrescante con una emisividad de 600 W/K y un flujo másico de $2,84\text{E-}4 \text{ m}^3/\text{s}$, Tabla 46. La captación solar cuenta con una acumulación de agua caliente de $19,44\text{E-}4 \text{ m}^3/\text{m}^2_{\text{colector}}$ y una temperatura de acumulación de $95 \text{ }^\circ\text{C}$ para calefacción y $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para ACS ya que aunque los consumos se realizan a una temperatura de uso que asegure el confort y la ausencia de peligro para las personas, en torno a $45 \text{ }^\circ\text{C}$, para evitar problemas de infección por Legionella el almacenamiento se realizará a una temperatura que garantice la destrucción de la bacteria por desinfección de tipo térmico.

Debido a la variabilidad de la energía solar térmica, el sistema cuenta con un equipo de apoyo para proporcionar energía térmica: se ha optado por una caldera de condensación alimentada por gas natural, tecnología que permite elevar el rendimiento de la instalación.

Se diseña y utiliza como disipación de la máquina de absorción la piscina exterior que cuenta con un tamaño típico en las viviendas unifamiliares, con una superficie de agua libre de 30 m^2 y un volumen total de 45 m^3 . Para la instalación térmica diseñada

se calcula la energía teórica aportada por el sistema renovable y el porcentaje de cobertura frente al total, Tabla 49. El sistema cubre un importante porcentaje de las necesidades de calefacción (76%), el 98% de las necesidades de ACS y el 57% de las necesidades de refrigeración.

Tabla 49. Resultados de consumo energético con sistema solar térmico

Resultados consumo energía anual con aporte solar				
Demanda	CALOR	ACS	FRÍO	Total
Demanda térmica (kWh)	1.659	36	1.556	3.251
Demanda térmica específica (kWh/m ²)	16,93	0,37	15,88	33
Emisiones de CO ₂ (kg)	405	9	504	918
Emisiones CO ₂ específicas (kg/m ²)	4,13	0,09	5,14	9.37
Demanda energética (kWh)	1.693	37	778	2.508
Aportación renovable (%)	76%	98%	57%	74% (media)

El COP nominal de la máquina es de 0,68 (Climatewel, 2003) y la potencia frigorífica entregada es de 10 kW (Climatewel, 2003), obtenido mediante (5).

$$COP = \frac{\text{Carga de refrigeración}}{\text{Aportación solar}} = \frac{P_{refrig}}{P_{solar}} \quad (5)$$

5.1.3.4. Resultados experimentales y análisis

La instalación solar que alimenta el sistema cuenta con un esquema de principio como el que se muestra en la Fig. 47. Conexión del sistema. Los colectores solares se instalaron con configuración de retorno invertido para garantizar el adecuado equilibrado hidráulico. Los sistemas de bombeo son de caudal variable, lo que maximiza la eficiencia energética de la instalación. Para evitar los problemas asociados al suelo refrescante cuando se produce condensación superficial, el control de la temperatura de impulsión se realiza mediante consigna de temperatura y control con sonda de condensación. Esta sonda controla que no se alcance una temperatura de impulsión tan baja que provoque que se alcance el punto de rocío en las superficies donde está instalado el suelo refrescante, con la consiguiente generación de gotas. Con el objeto de monitorizar energéticamente la instalación se han registrado parámetros de temperatura con todas las sondas con una frecuencia de 15 minutos durante las 24 horas del día, en el periodo de funcionamiento de verano. Estos datos registrados con el sistema de telegestión y control son posteriormente presentados al usuario del laboratorio y utilizados para los cálculos de los valores de COP y otros parámetros de interés. Para la medición de la energía térmica la instalación cuenta con dos

medidores de calor, uno situado en la entrada de agua caliente generada en los colectores solares térmicos y otro para la medición de la energía térmica entregada a la máquina de absorción.

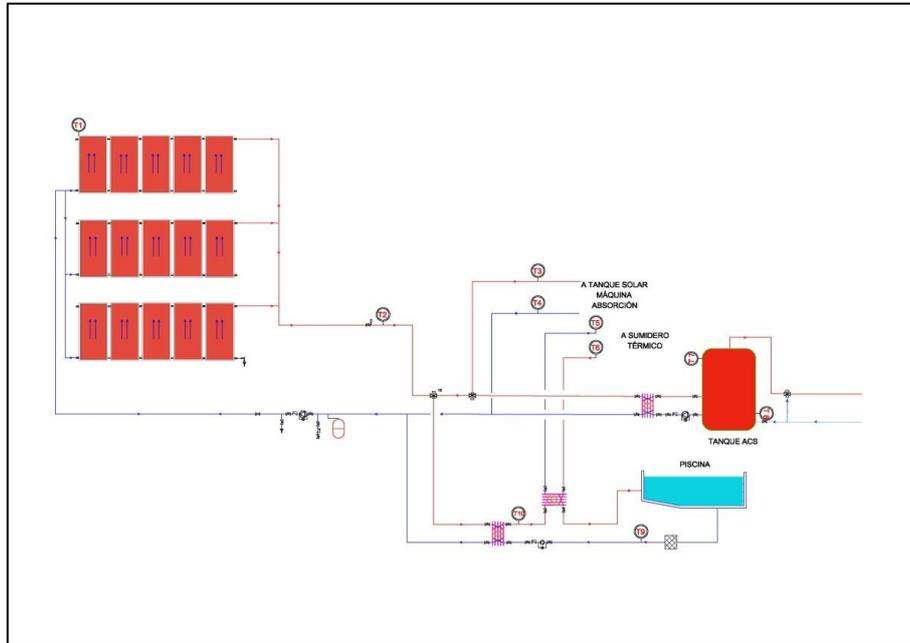


Fig. 47. Conexión del sistema

La regulación de la instalación está basada en parámetros y consignas de máxima eficiencia. La instalación solar térmica comienza a funcionar con un sistema mixto de control de radiación con célula fotoeléctrica y un control diferencial de temperatura entre la sonda de los colectores y el tanque. El sistema de regulación para modo invierno (calefacción) y verano (refrigeración) se lleva a cabo mediante control por sonda de radiación, sonda interior y sonda de temperatura exterior. Se fija una temperatura de consigna exterior a partir de la que se produce el cambio de modo invierno a verano posibilitando la entrada en funcionamiento de la máquina de absorción. Cuando la temperatura en los colectores solares supera los 75 °C y existe demanda de frío el sistema de absorción es conectado. En caso de que la temperatura de alimentación caiga por debajo de los 60 °C el sistema de absorción es desconectado. Durante la operación las temperaturas son monitorizadas y registradas para comprobar el correcto funcionamiento y verificar que no existen problemas en la instalación. Estos datos se utilizan posteriormente en el laboratorio para calcular las potencias del sistema y el valor del *COP*.

- Resultados y análisis

Durante los meses de modo verano se registraron todas las temperaturas exteriores (T_{ext}) durante las horas del día, clasificándose los días en función de su temperatura en tres tipos: día cálido, medio y frío. Para esta clasificación se ha realizado un reparto porcentual proporcional al percentil 100/3 para todos los días de la temporada de verano. La Fig. 48 muestra la media de las temperaturas obtenidas para cada tipo de día.

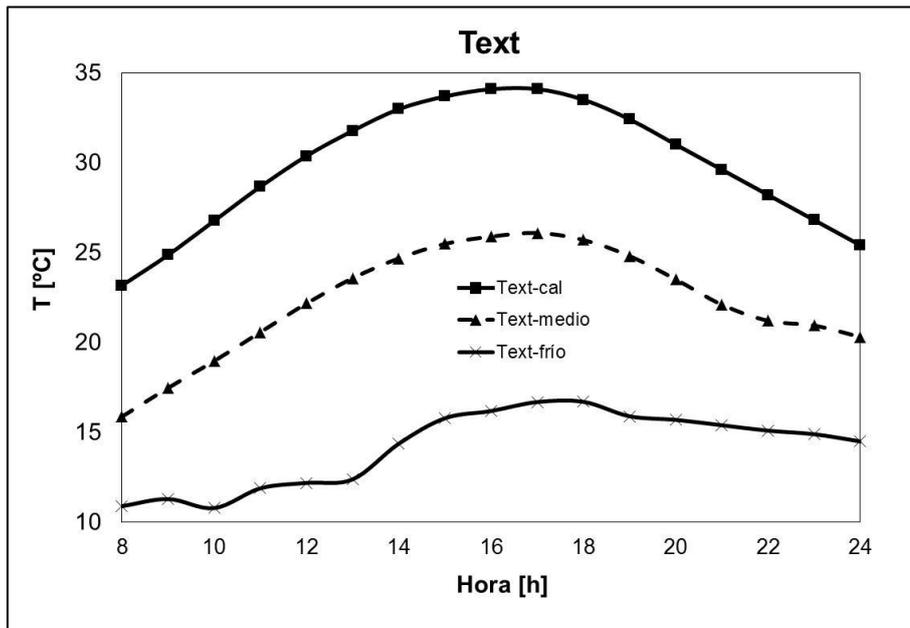


Fig. 48. Evolución de temperaturas en diferentes días

Durante los días correspondientes a la clasificación del día frío no ha sido necesaria la utilización de la máquina de absorción. En caso de que se produzca sobrettemperatura en los colectores o en el tanque de acumulación el calor excedente es disipado de forma directa en la piscina exterior. Se ha procedido a registrar el COP real obtenido en la instalación, la potencia frigorífica efectiva (P_{refrig}), la potencia de disipación efectiva ($P_{sumidero}$) y se han comparado con los valores previstos.

Durante el proceso de funcionamiento del sistema los colectores solares generan energía solar térmica y alimentan el sistema. Para los días clasificados como cálidos se ha registrado la evolución de temperatura en el sumidero térmico, en el exterior y se ha calculado el COP real frente al COP teórico, Fig. 49. En estas figuras se muestra la evolución del COP real frente al teórico en un día de temperatura exterior media.

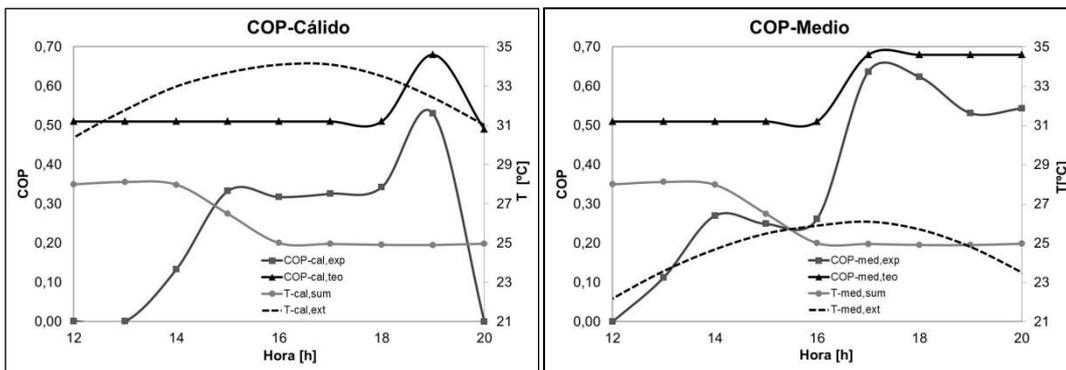


Fig. 49. Evolución del COP para un día cálido y medio

El análisis de la Fig. 49 permite comprobar que el valor del COP es en todo caso inferior al previsto. En las primeras horas del día la elevada inercia térmica del sistema solar provoca que la temperatura de consigna para alimentar al sistema de absorción no se alcance. A medida que los requerimientos de frío son menores, como sucede en el día medio, la disminución del COP es menor si bien el mejor rendimiento se obtiene a últimas horas del día. Para toda la temporada se han registrado las variaciones en el COP máximas, medias y mínimas del valor experimental frente al teórico. En la Fig. 50 se muestra la variación para el día tipo cálido y medio.

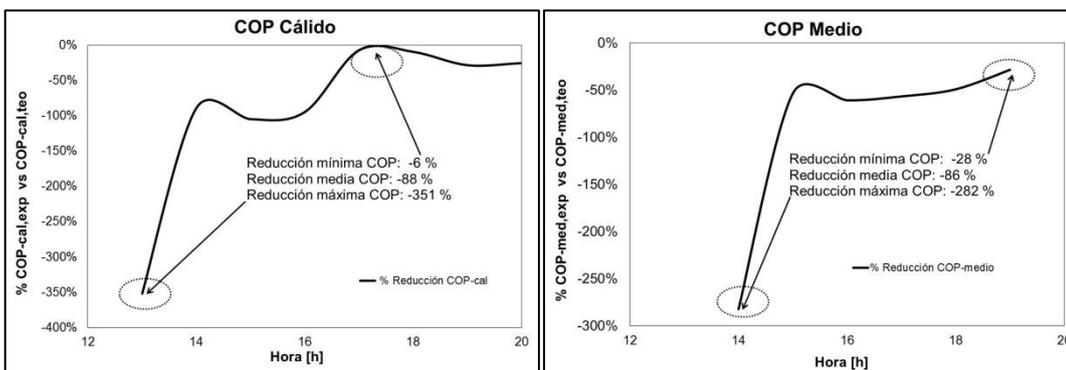


Fig. 50. Máximas variaciones del COP para el día tipo cálido y medio

A lo largo de la temporada de funcionamiento se han registrado valores de reducción del COP_{exp} frente al COP_{teo} medios del -88%, siendo la variación mínima del -6% y la máxima del -351%. En el caso de un día medio se han registrado valores de reducción del COP_{exp} frente al COP_{teo} medios del -86% con una variación mínima del -28% y máxima del -282%.

En la Fig. 51 se muestra la evolución de la potencia de refrigeración a lo largo del día tipo cálido y medio. En ambos casos se observa que la potencia experimental es menor que la teórica excepto a últimas horas del día. La inercia térmica de la

instalación solar, que lleva recibiendo radiación durante varias horas, permite obtener mejores valores de operación.

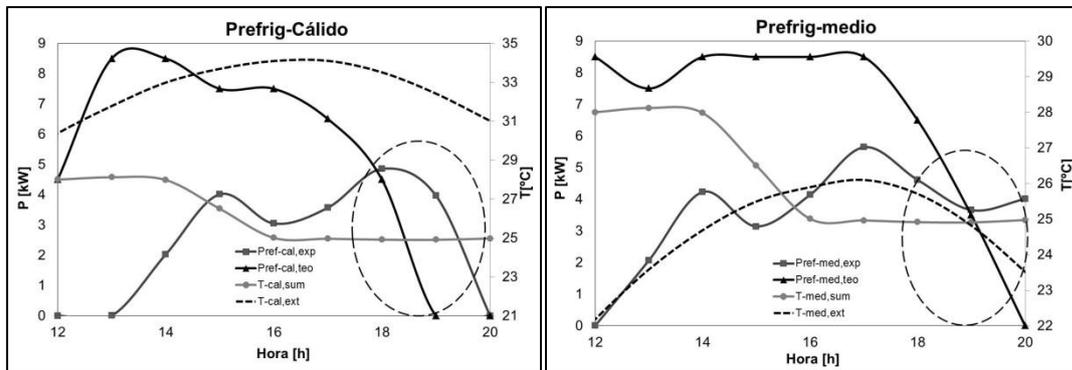


Fig. 51. Potencias de refrigeración para un día tipo cálido y medio

La potencia de refrigeración experimental es mucho menor que la teórica, lo que provoca que no se satisfagan las necesidades de frío del edificio. Estos resultados justifican que tal y como se muestra en el siguiente apartado se hayan registrado temperaturas interiores mayores a las deseadas. Los sistemas de absorción son de tipo tritéricos y al trabajar con tres focos de temperatura su *COP* depende también de la temperatura del sumidero térmico, T_{sum} . El balance de energía en el sistema de absorción cumple (6) y se relaciona con el *COP* según (7).

$$P_{sum} = P_{refrig} + P_{solar} \quad (6)$$

$$P_{sum} = COP \cdot P_{solar} + P_{solar} = P_{solar} \cdot (1 + COP) \quad (7)$$

En la Fig. 52 se muestra la evolución de la potencia disipada en el sumidero térmico (ST) durante el día tipo cálido y el día tipo medio.

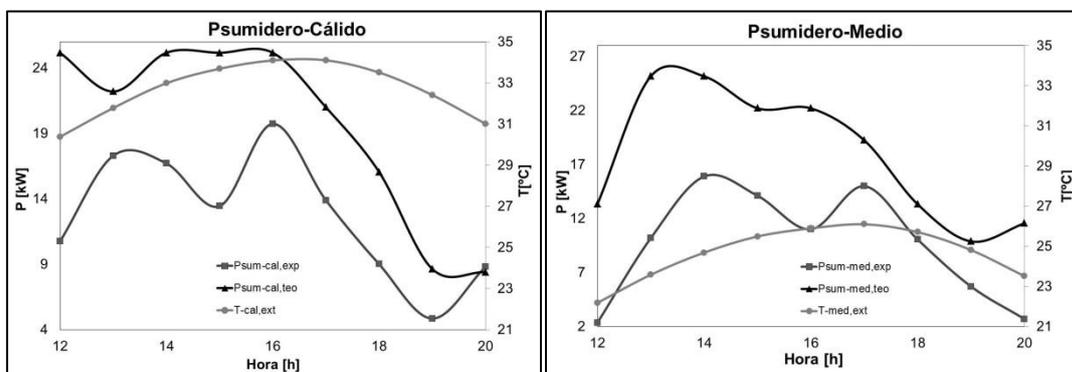


Fig. 52. Evolución de la potencia del sumidero para un día cálido y medio

Se observa en las dos figuras que la potencia de disipación $P_{sumidero}$ prevista es mayor que la realmente obtenida y medida. El valor de $P_{sumidero}$ para los dos tipos de día analizado es inferior a la teórica como consecuencia de que el COP no alcanza los valores teóricos. Esta disminución de COP da lugar a un menor valor en la potencia disipada como consecuencia de la (6).

Para analizar si se alcanza la temperatura de confort en el edificio se registraron las temperaturas significativas, T_{int} , T_{ext} y T_{sum} comparándose los registros con los valores de temperatura teóricos, Fig. 53. En ambos días no se alcanza la temperatura de confort durante todas las horas de funcionamiento. $T_{cal,int,exp}$ es mayor a la temperatura de consigna $T_{cal,int,teo}$ durante las primeras horas del día como consecuencia de la inercia térmica del sistema solar y de la máquina de absorción. Bajo este criterio de construcción en el que se cuenta únicamente con el sistema de absorción como equipo de refrigeración no es posible garantizar las temperaturas de consigna. En el día medio $T_{med,int,exp}$ es siempre inferior a la temperatura teórica $T_{med,int,teo}$ pero durante la diferencia se mantiene constante durante todo el día.

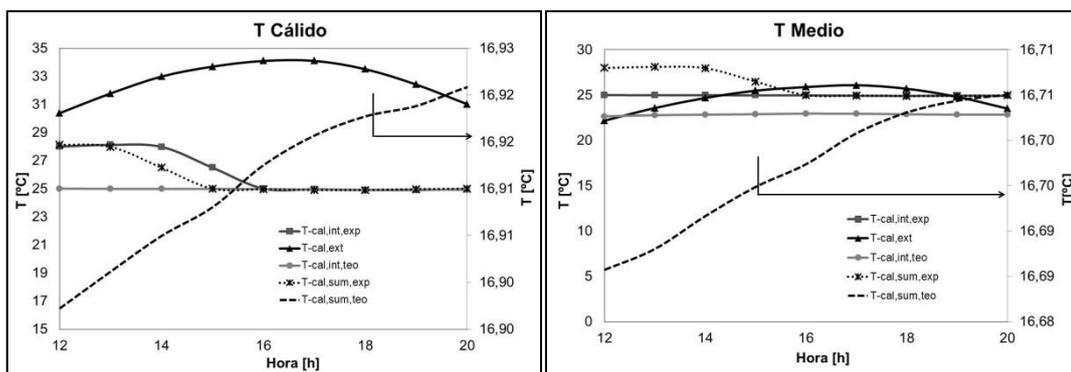


Fig. 53. Temperaturas más significativas para el día tipo cálido y medio

Este fenómeno es debido al efecto de la radiación solar I , que tiene en ambos casos un efecto contrapuesto. En los días de temperatura media se ha registrado menor radiación solar, lo que provoca la disminución de las ganancias solares en el edificio pero también del valor de P_{solar} con la consiguiente disminución del valor de P_{refrig} .

Las emisiones de GEI previstas con el sistema sin energía solar utilizando una máquina CCV con COP de 3,1 serían de 1.173 kg CO_2 /año. Con la instalación del sistema de absorción las nuevas emisiones asociadas a la refrigeración serían, para el caso teórico de que el apoyo de refrigeración se realizara con la máquina VCC de COP 3,1 serían de 504 kg CO_2 /año. Para la energía frigorífica realmente obtenida las emisiones reales del equipo auxiliar que hubiera suplido la demanda frigorífica no aportada por el sistema de absorción habrían sido de 756 kg CO_2 /año. Esto supone

una importante reducción en el valor de las emisiones de GEI. La reducción de emisiones de GEI es de un 76% para refrigeración y alcanza un valor global del 68% para calefacción, refrigeración y ACS. Estos sistemas son una estrategia fundamental para poder alcanzar los objetivos fijados en la estrategia 20-20-20. Pese al significativo aumento de la eficiencia energética de los sistemas de tipo CCV la utilización de sistemas CAV supone un eficiente modo de mejora de la sostenibilidad en edificios terciarios y residenciales. Teniendo en cuenta el elevado número de equipos de tipo CCV existentes en Europa y en el mundo, existe un elevado potencial de reducción de emisiones mediante la implantación de estas tecnologías, (Borge et al., 2011).

Para la instalación realizada se ha estudiado la viabilidad económica y financiera del proyecto tanto para el caso de que la aportación fuera la teórica, siendo $P_{refrig,exp}$ igual a $P_{refrig,teo}$, tanto como en el caso real. Para el cálculo se ha valorado la instalación solar y el sistema de absorción con sus componentes asociados. No se tienen en cuenta el coste del sistema de distribución de calor por suelo radiante ni los componentes para la generación de ACS. En el análisis tampoco se contempla el coste de los sistemas de depuración de la piscina. Todos estos componentes no son tenidos en cuenta en la inversión porque su instalación ha de realizarse independientemente de que se instale o no el sistema de absorción. El coste de los componentes indicados fue de 31.400 €. Para el caso de que la energía a lo largo de la temporada, $E_{refrig,exp}$ fuera igual a la esperada $E_{refrig,teo}$ y suponiendo una máquina de compresión mecánica con un COP de 3,1 los ahorros hacen que el periodo de retorno de la inversión sean, para el coste medio de la energía eléctrica durante el periodo estudiado, de 15 años y otorgan una tasa interna de retorno (TIR) TIR_{teo} del 4,23%. El IDAE promueve la instalación de sistemas de energías renovables como medida para alcanzar los objetivos 20-20-20 que se han detallado detenidamente en capítulos anteriores. Para ello proporciona ayudas económicas a la instalación de estos sistemas. Estas ayudas y subvenciones existen en la gran mayoría de los países europeos con el mismo objetivo de alcanzar sus compromisos. Para una ayuda en la instalación del 30% del coste de la instalación el periodo de retorno disminuye a 11,2 años y un TIR_{teo} del 7,13%. Estas valoraciones se han realizado para una evolución del coste de la energía similar al índice de precios al consumo (IPC) si bien los escenarios de crecimiento de coste pueden ser mayores, lo que aumentaría la rentabilidad de la inversión. Analizando el balance económico para la instalación global incluyendo los aportes en ACS y calefacción en los meses de invierno permiten obtener un PR de 8,55 años para el caso sin ayudas y de 5,16 años para el caso de subvención con un TIR respectivo del 9,23% y del 12,45%.

5.1.3.5. Conclusiones y desarrollos futuros

A partir de los ensayos realizados en el laboratorio remoto el usuario o el docente que utilice el sistema puede obtener importantes e interesantes conclusiones sobre esta tecnología, sus ventajas, inconvenientes y las características más importantes. El uso de sistemas de absorción de tipo LiCl-H₂O presenta la ventaja de poseer capacidad de almacenamiento de energía interna en forma de sal sólida. Se puede analizar en el laboratorio un caso real de una vivienda unifamiliar con un sistema de absorción de tipo LiCl-H₂O alimentado con energía solar térmica y utilizando una piscina como sumidero de calor. Se registraron durante un año los valores de potencias, temperaturas y *COP*. El valor de estos términos se compara con el valor teórico comprobándose que se obtienen valores de potencia de refrigeración y de *COP* menores a lo esperable. El análisis de los resultados evidencia que la inercia térmica del sistema solar ha de ser tenida en cuenta para lograr alcanzar las temperaturas de confort en las primeras horas del día. En el caso teórico la inversión inicial es elevada pero se obtiene el retorno de la inversión en 15 años y un TIR del 4,23% para el caso más desfavorable. En el caso de contar con las subvenciones existentes en España y la gran mayoría de los países europeos el TIR alcanza valores del 12,45% y el PR se reduce a 5,16 años. En zonas con demandas de refrigeración bajas, como la ubicación estudiada, la inversión no es económicamente rentable acometiéndola sólo para refrigeración pero en conjunto los ahorros en ACS, calefacción y refrigeración suponen un ahorro económico y de reducción de GEI del 68%. Estos equipos posibilitan aumentar mucho el potencial de la energía solar térmica en zonas climáticas como las de estudio. La elevada generación de energía térmica en verano unido a la baja demanda de calor no permite aumentar la superficie colectora solar para aportar energía en invierno a calefacción. Con la introducción de estos sistemas CAV se puede absorber ese calor en verano para generar frío, aumentando el rendimiento global y los ahorros. El gran número de instalaciones de tipo CCV existentes y su impacto en el sistema eléctrico y las emisiones de GEI asociadas hace que la instalación de estos sistemas deba convertirse en una prioridad. Existe un importante potencial para el ahorro energético y el beneficio ambiental con esta tecnología. Deben mejorarse los sistemas de absorción para lograr aumentar el valor del *COP* realmente obtenido y asociar estas máquinas a sistemas de disipación de tipo geotérmico, siendo un trabajo futuro la evaluación del comportamiento y de los ratios económicos para esta tecnología combinada. La disminución de costes en los sistemas de energía solar térmica y el aumento de los costes de la energía eléctrica harán que la rentabilidad de estos sistemas aumente, animando a los inversores. Los sistemas de CCV tienen un importante impacto en la estructura del sistema eléctrico de potencia en España y dificultan la integración de sistemas de generación distribuida. La

sustitución de los sistemas CCV por tipo CAV facilitaría la operación, regulación y funcionamiento de las nuevas SGs y permite aprovechar un recurso solar disponible para la generación de frío.

El usuario puede de este modo adquirir capacidades reales de análisis de la tecnología que le permitan incluir estos sistemas entre las tecnologías de producción de frío para edificios de uso habitual.

5.1.4. Análisis Exergético de Sistemas de Absorción de triple estado tipo LiCl-H₂O con alimentación solar y disipación en piscina integrados en edificación

A partir de la instalación monitoreada y analizada en el anterior experimento se propone llevar a cabo un ensayo sobre otro aspecto sin referencias bibliográficas y que está orientado a la toma de decisión y análisis avanzado de funcionamiento de instalaciones termosolares para generación de frío integradas en edificación, el análisis exergético. El sistema de análisis propuesto es totalmente novedoso ya que tiene en cuenta todos los balances energéticos existentes en la instalación y considera por lo tanto todos los efectos útiles de instalación de EST, incluyendo el calor disipado en la piscina que pasa a ser utilizado para atemperar el agua y alargar la temporada de baño.

El sistema de laboratorio remoto permite realizar un análisis avanzado de los datos de monitorización de la instalación siendo posible incluir un análisis de tipo exergético. Este tipo de análisis permite analizar aspectos de calidad de la energía y es una herramienta mucho más avanzada que el simple análisis energético, constituyendo un complemento a este y orientado a la optimización de sistemas y tecnologías.

En la Tabla 50 se muestran los principales parámetros del experimento sobre análisis exergético de sistemas de absorción integrados en edificación y con capacidad de acumulación energética interna (termoacumulador químico).

Tabla 50. Experimento sobre análisis exergético de edificios con sistemas de absorción de triple estado

Destinatarios	Alumnado universitario nivel Doctor. Experimentación e I+D+i Profesionales en activo en el ámbito de la ingeniería y arquitectura	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de telegestión comercial con acceso mediante tecnología GPRS/GSM o IP
	Futurible	Sistema de telegestión basado en tecnología PLC y acceso mediante dispositivos portátiles y móviles con alta velocidad.
Herramienta de análisis propuesta	Hoja de cálculo Modelo en TRNSYS	
Objetivos	<p>Dotar al usuario de una herramienta de análisis y comparación de diferentes instalaciones con un análisis energético avanzado utilizando parámetros de calidad de la energía térmica (exergía). Aportar conocimiento sobre sistemas de análisis de instalaciones térmicas poco usuales (análisis exergético) pero con un gran potencial</p> <p>Proporcionar una herramienta de ensayos para la optimización de la tecnología, al permitir la comparación entre el funcionamiento de diferentes sistemas al variar consignas o condiciones de contorno</p> <p>Concienciar de la existencia de tecnologías que pese a no estar maduras comercialmente proporcionan soluciones para el enfriamiento renovable en edificios</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p> <p>Investigación autónoma o en equipo</p>	

Análisis Exergético de Sistemas de Absorción de triple estado tipo LiCl-H₂O con alimentación solar y disipación en piscina integrados en edificación.

Formación universitaria Doctorado e investigación.

Sector residencial.

Hoja de cálculo y sistema en TRNSYS.

Resumen de objetivos del experimento.

El usuario del experimento puede realizar simulaciones, análisis y evaluar el rendimiento exergético de una instalación experimental para la climatización de pequeños edificios mediante energía solar térmica y máquina de

servirá para que diferentes usuarios y equipos de investigación en formación o en activo puedan realizar simulaciones, comparar el funcionamiento en diferentes condiciones y proponer por lo tanto

El usuario realiza experimentos sobre cálculo del rendimiento exergético de instalaciones de energía solar térmica para refrigeración de edificios.

absorción. El experimento conlleva la realización de análisis con una tecnología que pese a ser comercial no está introducida en el mercado y sobre la que además no existen referencias bibliográficas. La posibilidad de incluir más instalaciones experimentales en el laboratorio permitirá no sólo aumentar y mejorar las capacidades docentes del sistema sino que

acciones de mejora que conlleven el incremento del rendimiento global del sistema, la reducción de costes y la mejora de los parámetros económicos y financieros.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza un protocolo de lectura y acceso a los registros basado en GPRS/GSM y protocolo IP. Dicho sistema permite un acceso remoto y desde cualquier ubicación al sistema de telegestión de la instalación de EST y del sistema de frío solar. Todos estos datos son almacenados para posteriormente proceder a su análisis mediante las herramientas desarrolladas en este experimento del laboratorio remoto.

5.1.4.1. Sistema de cálculo y descripción de la herramienta

El usuario utiliza como datos para el análisis los registros que el sistema de telegestión y control recoge de cada uno de los parámetros energéticos de la instalación. A partir de esos datos se ha realizado una herramienta de análisis que calcula los rendimientos exergéticos de la instalación teniendo en cuenta todos los flujos de energía útiles generados por la instalación de EST y la instalación de absorción.

El frío solar se perfila como una de las aplicaciones con mayor futuro a la hora de aprovechar la energía solar térmica para usos diferentes al calentamiento de agua. Los equipos actuales permiten climatizar pequeñas viviendas de forma eficaz, a la vez que solucionar el problema del aprovechamiento del exceso de energía térmica captada en los meses de verano. Este análisis permite realizar el estudio y el análisis exergético del edificio considerado como un ente energético único para tres instalaciones a partir de datos reales de sistemas solares térmicos monitoreados que cuentan con agua caliente sanitaria, apoyo a calefacción y refrigeración, con la propuesta de una piscina exterior como sumidero térmico. En el ensayo y experimento propuesto se propone analizar la influencia de los ratios de demanda calor/frío, la temperatura del estado muerto, la de la vivienda, y además, se estudia la influencia del aprovechamiento del calor disipado. El usuario puede analizar los resultados obtenidos con el método propuesto y el sistema permite estudiar de forma más realista estas instalaciones, facilitando el análisis y la toma de acciones para mejorar el rendimiento exergético del conjunto y dotando al usuario, profesional o estudiante, de conocimientos avanzados en materia de análisis exergético de instalaciones de EERR.

5.1.4.2. Elección de la tecnología y justificación de la solución

La exergía de un sistema referenciado a un entorno es el máximo trabajo teórico que puede extraerse de él. Los análisis exergéticos se han reportado de forma habitual como un método para evaluar el desempeño de plantas de generación eléctrica y procesos industriales (Kwak et al., 2003), (Calise et al., 2006), (Corrado et al., 2006), (Dagdas et al, 2005) si bien no existen amplios estudios sobre su utilización en el entorno de la edificación y la eficiencia energética. Un elevado porcentaje de la energía consumida en los países industrializados se destina a climatización y calentamiento de agua en edificios por lo que cualquier estrategia destinada a disminuir las emisiones de CO₂ y el consumo energético deben contemplar de forma prioritaria este sector. El método de análisis exergético proporciona una herramienta

de análisis avanzado que reporta resultados más profundos que un simple estudio energético al contemplar el uso, la eficiencia y la calidad de la energía.

La implantación de energías renovables se perfila como una de las mejores opciones para reducir el nivel de emisiones de CO₂, considerándose como energía renovable cualquier proceso cuya velocidad de consumo no sea superior a la velocidad de regeneración de la fuente energética y de la materia prima utilizada en el mismo. La energía solar cumple estrictamente esta definición por lo que cualquier línea destinada a valorizar y diversificar su uso implica los mayores beneficios posibles. La utilización típica se centra en el calentamiento de agua para diferentes usos si bien la inclusión de sistemas de frío solar mediante sistemas de absorción alimentados con energía solar térmica permiten climatizar una vivienda de un modo limpio y eficaz valorizando además la energía solar térmica captada mediante colectores solares térmicos.

El nivel exergético de la energía captada en los colectores es habitualmente bajo lo que hace que la poca calidad de esta energía lleve asociados habitualmente bajos rendimientos exergéticos en el proceso global. Numerosos estudios abordan el análisis exergético de sistemas de absorción de simple o múltiple efecto con tecnología de LiBr-H₂O así como de los equipos auxiliares de la instalación pero no hay ensayos ni referencias para máquinas de tipo LiCl-H₂O.

Desde el punto de vista de las instalaciones reales se ha estudiado el desempeño exergético de diferentes sistemas de climatización y distribución basadas en energías renovables (Torio and Schmidt, 2008) aunque no existen publicaciones sobre el comportamiento de instalaciones de la tipología objeto de este estudio y experimento (Meester et al., 2009). Debido a la naturaleza de la máquina térmica utilizada, un sistema tritérmico que trabaja intercambiando energía entre el foco generador y el foco donde se produce el efecto útil, es necesario utilizar un foco disipador de calor (Gong, 2007), que en viviendas por diferentes motivos estéticos y de salubridad no puede ser una TE, tal y como se ha detallado en el anterior experimento. Una solución constructiva puede consistir en un sistema basado en la utilización de una piscina exterior como foco de disipación, lo que facilita la instalación en viviendas unifamiliares y permite valorizar el calor disipado para atemperar la piscina exterior y además permite alargar la temporada de baño y utilización de la misma.

El nivel de temperatura del sumidero de energía térmica ha de ser al menos de 50 K inferior al del foco de aportación de calor (Chua et al., 2000), (Florides et al., 2003), en este caso los colectores solares térmicos, por lo que este tipo de disipación resulta

perfecta. Otros sistemas tales como sondas geotérmicas se están ensayando si bien los costes asociados al bombeo para la disipación y la no utilización del calor residual provocan menores rendimientos además de elevar en gran medida el coste de instalación. Para analizar el desempeño exergético de estos sistemas se monitorea y ensaya una instalación con la tipología típica de una vivienda unifamiliar en España y que cuenta con una piscina exterior como foco de disipación térmica, instalación utilizada para el anterior experimento. El usuario puede realizar simulaciones del rendimiento exergético previsto para diferentes condiciones climáticas: para realizar un análisis de sensibilidad el sistema recoge datos de temperatura exterior e interior de tres localizaciones en la península con diferentes ratios de demanda calor/frío estudiándose la influencia de la temperatura del estado muerto y del foco a climatizar en el rendimiento exergético global del sistema. El usuario puede de este modo valorar y conocer el rendimiento previsto de la instalación y las características que presentará el sistema. Para obtener una simulación de la demanda térmica con el suficiente nivel de exactitud se ha utilizado un método dinámico basado en el procedimiento descrito en la norma EN13790, y el cálculo de los balances energéticos del sistema se simulan mediante una máscara del programa TRNEdit para TRNSYS. A partir de los datos obtenidos en la simulación y utilizando una hoja de cálculo se procede a realizar un análisis exergético del sistema y se analizan estadísticamente todos los resultados con el objetivo de determinar la influencia, significativa o no, de esos parámetros en los ratios de calidad de la energía. Teniendo en cuenta la tipología de las instalaciones se pueden calcular dos rendimientos exergéticos diferentes: el primero no tiene en cuenta el calor útil aprovechable como sistema de precalentamiento de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y el segundo se aprovechan los excedentes de calor para precalentar el agua de red. Se manifiestan importantes mejoras en el rendimiento exergético en el segundo caso y se demuestra la necesidad de estudiar estas instalaciones en su conjunto y no como sistemas energéticos individualizados. Mediante este tipo de aprovechamientos se consigue utilizar la energía de bajo nivel térmico (baja calidad) permitiendo obtener un efecto útil que de otro modo sería desaprovechado al ser la temperatura insuficiente para poder alimentar un sistema de frío solar. Los resultados que se obtienen en los experimentos realizados sugieren influencias en el rendimiento acordes a la bibliografía (Izquierdo et al., 1996), (Tozer and James, 1997) y a lo que predice el tercer principio de la termodinámica, además de abrir líneas de trabajo futuras de cara a mejorar estos rendimientos. En este sentido se hacen necesarios importantes esfuerzos investigadores capaces de elevar la temperatura de aportación del fluido caliente debido a la imposibilidad teórica de lograr máquinas de absorción que puedan

funcionar con temperaturas de alimentación inferiores. El uso de este tipo de laboratorios remotos permitirá que diferentes organismos científicos e investigadores así como personal en formación pueda acceder a datos de instalaciones reales y aportar, de forma colaborativa y complementaria, propuestas de mejora.

5.1.4.3. Fundamentos del análisis exergético propuesto

Las instalaciones solares térmicas son de obligada instalación para el suministro de ACS en España desde la entrada en vigencia del CTE (CTE, 2007). Esta obligatoriedad en la instalación propicia que se plantee la instalación de sistemas asociados a los colectores solares térmicos que permitan poner en valor y diversificar el uso de la energía solar térmica captada. Durante los meses de verano la aportación es lo suficientemente elevada como para provocar problemas en las instalaciones que no poseen un foco de disipación eficiente y además supone un derroche de energía. Los sistemas de absorción permiten utilizar esta energía para producir frío, lo que eleva el rendimiento de la instalación a la vez que proporciona una solución con gran valía económica y ambiental al permitir prescindir o disminuir significativamente la demanda de energía eléctrica utilizada con los sistemas de refrigeración convencionales. La exergía se define como el máximo trabajo obtenible en la interacción de un sistema con el entorno hasta que se alcanza el estado de equilibrio (Bejan, 1997), (Shukuya and Hammache, 2002). Esto implica que la exergía no es una unidad absoluta sino que es dependiente del entorno ambiental, que se denomina “estado de referencia” o “estado muerto” debido a que en él no se llevan a cabo cambios en sus propiedades intensivas (presión (P_0), temperatura (T_0) y potencial químico (μ_0)). Se considera además que estas propiedades intensivas son constantes y los procesos que suceden en él son perfectamente reversibles (Rosen and Dincer, 2004), (Ishida and Ji, 1999). El objeto fundamental de un análisis termoeconómico basado en parámetros exergéticos no es determinar el nivel de exergía absoluta de un sistema, sino estudiar el rendimiento exergético del mismo y analizar los diferentes parámetros de sensibilidad de ese rendimiento con el objetivo de maximizarlo sin que se disparen los costes económicos (Kwak et al., 2003). Se define el ratio de eficiencia exergética como una comparación entre la exergía obtenida a la salida del sistema frente a la exergía a la entrada del mismo por lo que se establecen dos tipos de rendimientos exergéticos, el universal y el funcional. Numerosos estudios teóricos analizan el rendimiento exergético de un sistema de absorción LiBr estudiando la variabilidad de ese rendimiento en función de las características del entorno y de los diferentes focos térmicos de la instalación (Ishida and Ji, 1999), (Florides et al., 2003). De modo similar se reportan numerosos estudios sobre el rendimiento de los

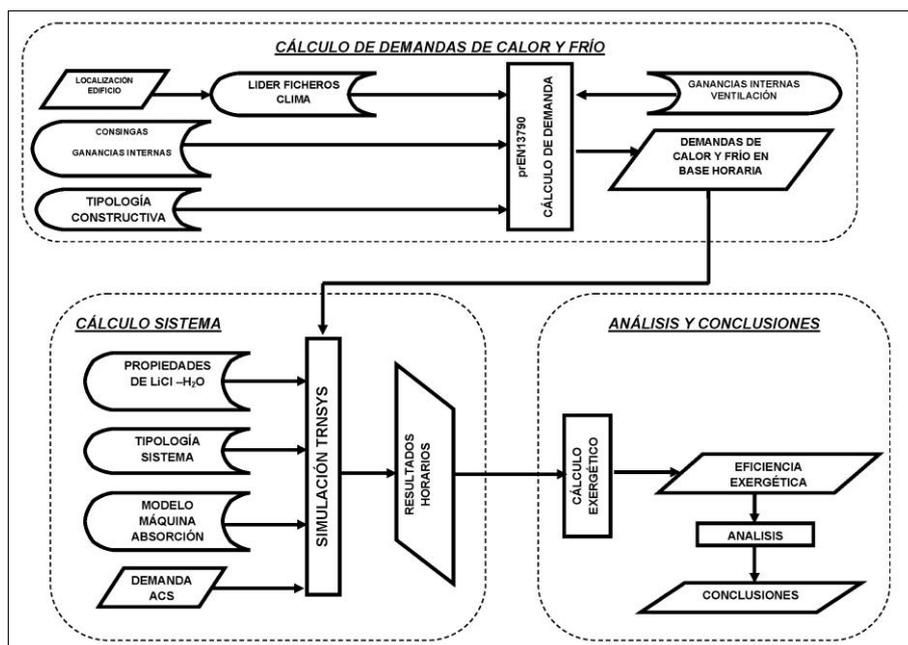


Fig. 55. Procedimiento de cálculo

A partir de los resultados de demanda de calor y frío para cada edificio se realiza un modelo basado en el software de cálculo TRNSYS utilizando el editor TRNEdit. Se calcula un ratio de consumo de agua caliente sanitaria basándose en las especificaciones del CTE que establece un consumo de 120 litros/día para el edificio. El edificio cuenta con las características descritas anteriormente en la Tabla 46.

Se eligen tres ubicaciones (León, Madrid y Sevilla) que presentan diferencias climáticas importantes y representan las diferentes condiciones climáticas existentes en la península ibérica. Estas localizaciones permiten analizar la influencia de las temperaturas del entorno, del edificio y de los ratios de demanda calor/frío en el rendimiento exergético global. Los diferentes ratios para las tres ubicaciones se muestran en la Tabla 51.

Tabla 51. Ratios de calor y frío para las ubicaciones

Localización	Ratio calor/frío	Radiación solar anual (kWh/m ²)
León	762	1.450
Madrid	15	1.590
Sevilla	3	1.690

Existen numerosos estudios del rendimiento de los diferentes componentes del sistema de climatización y de la envolvente térmica (Pfafferott and Herkel, 2007), si bien, no se tienen estudios sobre el desempeño exergético global de un edificio climatizado con un sistema de frío solar. La novedad de este ensayo radica en la valoración del rendimiento del sistema conjunto analizándolo como un único ente

relacionado con el entorno termodinámico a través de unas entradas y salidas de masa y energía que determinan tanto los consumos energéticos como la satisfacción del nivel de confort exigido permitiendo optimizar el diseño de viviendas reales basadas en estos sistemas.

La fuente de energía primaria es la radiación solar. La energía disponible (exergía) en la radiación solar se puede modelar con la ecuación de Petela (Petela, 2003), (8).

$$\dot{E}_{disp} = I \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sol}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sol}} \right) \right] A_{col} \quad (8)$$

El término T_{sol} representa la temperatura de la superficie del sol, cuyo valor más aceptado es de 5.800 K, y T_0 es la temperatura ambiente. El agua incrementa su temperatura desde un valor inicial $T_{w,col,i}$ hasta un valor final $T_{w,col,o}$, se puede definir el rendimiento exergético del colector solar como el ratio de exergía captado frente a la exergía disponible en la radiación solar, (9).

$$\varepsilon_{col} = \frac{\dot{E}_{abs}}{\dot{E}_{disp}} = \frac{\dot{m}_{w,col} c_w \left[(T_{w,col,o} - T_{w,col,i}) - T_0 \ln \frac{T_{w,col,o}}{T_{w,col,i}} \right]}{I \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sol}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_{sol}} \right) \right] A_{col}} \quad (9)$$

La aplicación del segundo principio de la termodinámica al sistema de absorción de triple estado como el mostrado en la Fig. 56 permite obtener un ratio exergético en función de la exergía de la fuente de calor (producido en la etapa 1-2) y la exergía del efecto útil (producido en la etapa 3-4). De los tres focos térmicos que intervienen en el proceso termodinámico la etapa 1-2 corresponde al aporte energético externo en forma de calor y la etapa 3-4 al efecto útil producido, en este caso el enfriamiento del fluido que circula por el suelo radiante. Es importante remarcar que un aspecto novedoso de este estudio es la incorporación del calor disipado en la piscina dentro del cálculo del rendimiento de la instalación global, considerando como efecto útil el calentamiento de la piscina: dicho planteamiento no es posible analizando de forma individualizada la máquina de absorción, demostrando la idoneidad de estudiar modelos completos del conjunto vivienda-sistemas. Rendimientos exergéticos diferentes pueden ser calculados en función de la utilización de la máquina en funcionamiento como sistema de frío o como calentamiento (Izquierdo et al., 1996).

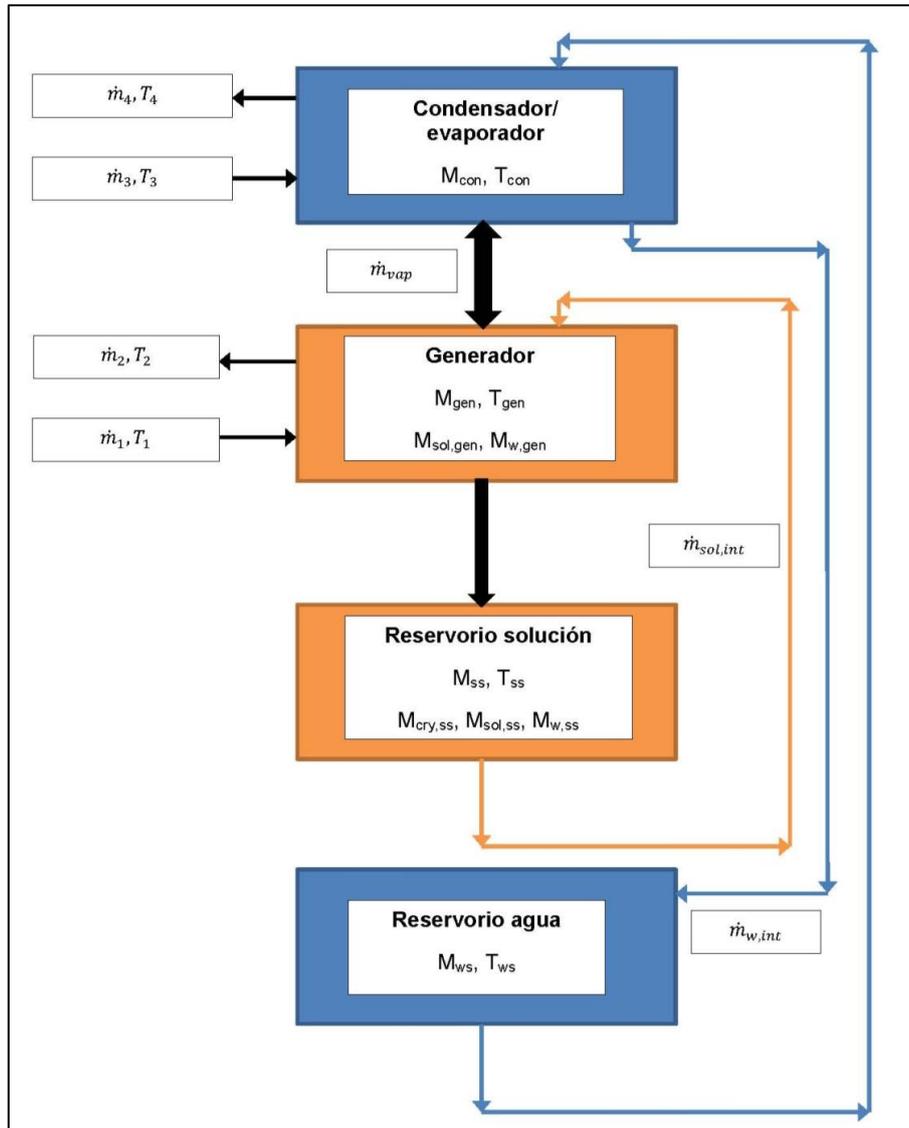


Fig. 56. Esquema de la máquina de absorción

Se define el COP de enfriamiento según (10), siendo el máximo valor teórico alcanzable el que correspondería al ciclo de Carnot, mostrado en (11) y que representa el COP para un proceso que fuera ideal y reversible.

$$COP_{r,refrig} = \frac{Q_{eva}}{Q_{gen}} \quad (10)$$

$$COP_{C,refrig} = \frac{Q_{ev}}{Q_{gen}} = \left(\frac{T_{gen} - T_{abs}}{T_{gen}} \right) \left(\frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} \right) \quad (11)$$

La exergía existente en un flujo de fluido se puede calcular según (12):

$$\dot{E} = \dot{m}(h - h_0) - \dot{m}T_0(s - s_0) \quad (12)$$

Siendo esta la exergía disponible en el fluido la variación de exergía se puede calcular según (13) siendo más útil en este caso utilizar una relación que permita calcular la variación del nivel de exergía cuando se produce una variación en la temperatura del fluido evaluado (14), siendo las temperaturas de i para la temperatura inicial y o para la temperatura final.

$$\dot{E} = \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (13)$$

$$\dot{E} = \frac{\dot{Q}}{(T_i - T_o)} \left[(T_i - T_o) - T_o \ln \frac{T_i}{T_o} \right] \quad (14)$$

En función del modo de operación de la instalación y de si se usa para generar calor o frío como efecto útil es posible calcular varios ratios de eficiencia exergética, siendo el utilizado en este ensayo el de modo refrigeración ya que el efecto útil es el de enfriamiento del edificio, (15).

$$\varepsilon_{refrig} = \frac{|\dot{E}_2 - \dot{E}_1|}{|\dot{E}_4 - \dot{E}_3|} \quad (15)$$

La determinación del rendimiento exergético de la caldera se ha realizado desde múltiples puntos de vista teóricos si bien el objetivo de este estudio exige la utilización de ratios basados en análisis semiempíricos como los referidos en la bibliografía (Zirngibl and Francois, 2002). El flujo de exergía en el sistema de generación térmica puede ser evaluado teniendo en cuenta un factor de calidad de la energía primaria utilizada que para la tecnología de condensación basada en gas natural posee un valor de 0,95 (Zirngibl and Francois, 2002), de modo la exergía asociada es el mostrado en (16):

$$\dot{E}_{cald} = \dot{E}_{aux} = \dot{Q}_{cald} \cdot Fq = \dot{m}_{GN} \cdot PCS_{GN} \cdot \eta_{cald} Fq \quad (16)$$

Considerando el conjunto edificio-sistema de climatización como un elemento a estudio único se aborda el análisis de dos rendimientos exergéticos diferentes que aportan una novedad frente a los planteamientos clásicos. El usuario puede de este modo realizar análisis exergéticos con un innovador componente. El primer análisis de rendimiento considera como efecto útil la climatización del edificio y el atemperamiento de la piscina siempre y cuando la temperatura de agua sea inferior a 24 °C, que se ha fijado como valor de referencia de confort. La introducción de este factor valora un efecto útil que resulta especialmente relevante en ubicaciones en las que el atemperamiento del agua permite alargar la temporada de baño lo que resulta una novedad frente a los análisis tradicionales que sólo consideran como efecto útil aquél que tiene como objetivo el calentamiento directo de agua o la aportación de apoyo mediante energía renovable al sistema de calefacción del edificio. En (17) y en (18) se muestra el valor del rendimiento exergético $\varepsilon_{glo}|_{refrig}$ para este caso de análisis.

$$\varepsilon_{glo}|_{refrig} = \frac{(|\dot{E}_{refrig}| + \dot{E}_{pisc})}{(\dot{E}_{aux} + \dot{E}_{col}) \cdot Fp} \quad (17)$$

$$\varepsilon_{glo}|_{refrig} = \frac{|\dot{Q}_{refrig}| \left(1 - \frac{T_0}{T_{int}}\right) + \dot{Q}_{pisc} \left(1 - \frac{T_0}{T_{pisc}}\right)}{\left[\dot{Q}_{cald} \cdot 0,95 + \frac{\dot{Q}_{col}}{(T_{w,i} - T_{w,o})} \left[(T_{w,i} - T_{w,o}) - T_0 \ln \frac{T_{w,i}}{T_{w,o}} \right] \right] \cdot Fp} \quad (18)$$

El segundo análisis considera, además de estos efectos útiles, el del precalentamiento del ACS introduciendo de este modo el requerimiento que la normativa española exige para la aportación de energía de origen renovable en las viviendas, (19) y (20).

$$\varepsilon_{glo+ACS}|_{refrig} = \frac{(|\dot{E}_{refrig}| + \dot{E}_{pisc} + \dot{E}_{ACS})}{(\dot{E}_{aux} + \dot{E}_{col}) \cdot Fp} \quad (19)$$

$$\varepsilon_{glo+ACS}|_{refrig} = \frac{|\dot{Q}_{refrig}| \left(1 - \frac{T_0}{T_{int}}\right) + \dot{Q}_{pisc} \left(1 - \frac{T_0}{T_{pisc}}\right) + \dot{Q}_{ACS} \left(1 - \frac{T_0}{T_{tanque}}\right)}{\left[\dot{Q}_{cald} \cdot 0,95 + \frac{\dot{Q}_{col}}{(T_{w,i} - T_{w,o})} \left[(T_{w,i} - T_{w,o}) - T_0 \ln \frac{T_{w,i}}{T_{w,o}} \right] \right] \cdot Fp} \quad (20)$$

El factor F_p introduce las pérdidas exergéticas asociadas al transporte de fluido tanto debido a los fenómenos de destrucción exergética por enfriamiento como a los consumos de los sistemas auxiliares asociados (bombeo). Se presenta de este modo un método innovador que aúna componentes teóricos y métodos semiempíricos para calcular el rendimiento exergético de un edificio climatizado con frío solar considerando el ente edificio-sistema de climatización como un único ente energético. El método plantea importantes novedades al considerar un sistema de integración eficiente de los equipos de absorción en viviendas utilizando como foco de disipación una piscina que permite prescindir de sistemas como torres de enfriamiento cuya integración en viviendas plantea grandes problemas técnicos, estéticos y de coste.

5.1.4.5. Resultados de los ensayos

En el ensayo propuesto para el laboratorio se ha realizado la simulación según el modelo utilizado y se han calculado los rendimientos exergéticos instantáneos con una frecuencia horaria de acuerdo con los requisitos del método EN13790 tomando como datos climatológicos los disponibles para cada una de las tres provincias españolas en la base de datos del software LIDER, utilizado para cuantificar el cumplimiento de la parte correspondiente del CTE. Con el uso de esta herramienta se aporta al ensayo solvencia técnica y se validan los resultados con los métodos de cálculo reconocidos por el estado español además de servir como herramienta de formación en esta materia. Para cada ubicación se han calculado las demandas energéticas para calefacción y climatización que se muestran en la Fig. 57 para las tres localidades estudiadas, León, Madrid y Sevilla.

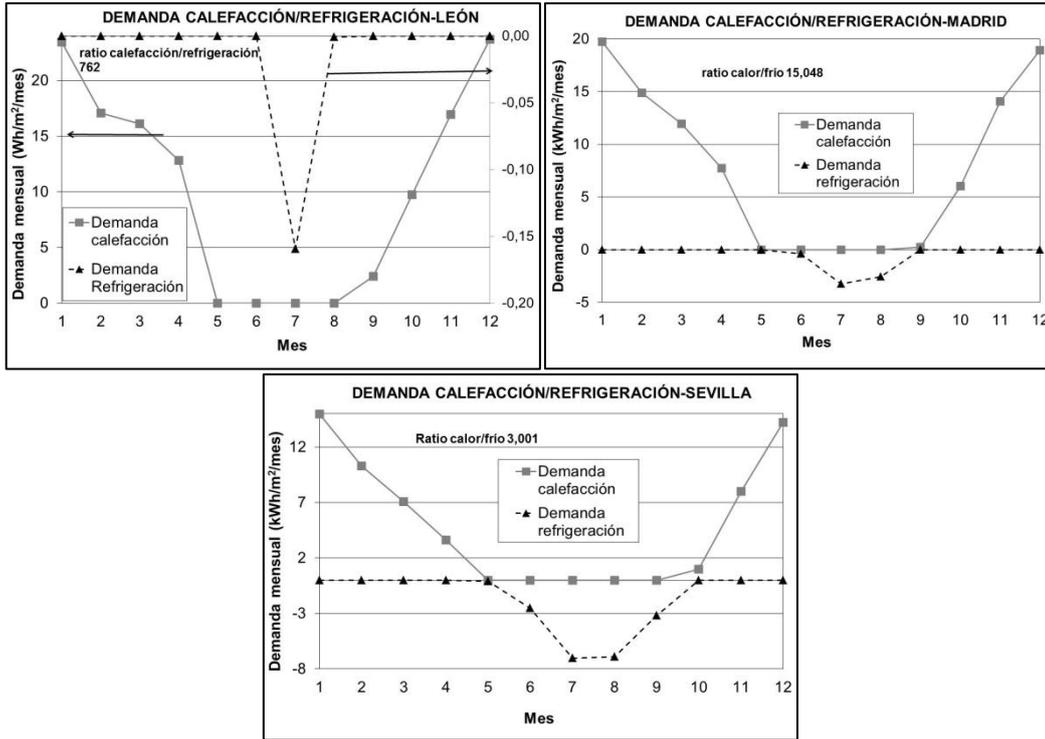


Fig. 57. Demandas energéticas para León, Madrid y Sevilla

Se muestran en la Fig. 58 para las diferentes ubicaciones las temperaturas de consigna, la temperatura interior y la temperatura exterior (considerada como el estado muerto o de referencia para el cálculo del rendimiento exergético) obtenidas con el método dinámico.

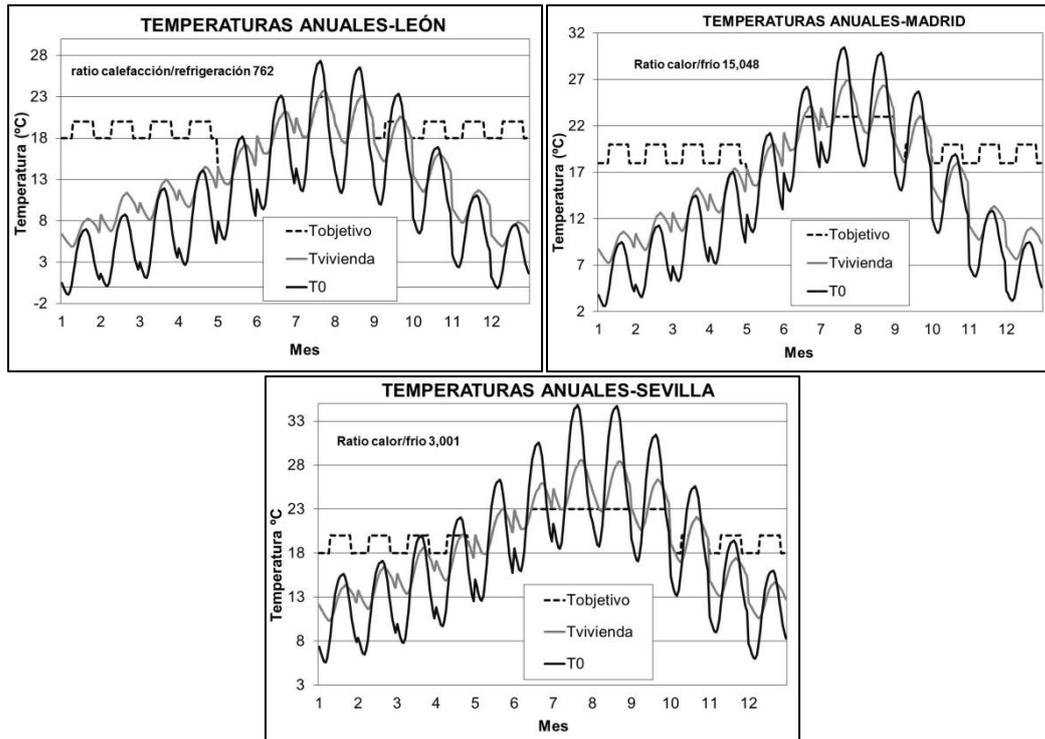


Fig. 58. Temperaturas para las tres ubicaciones

Se observa en las figuras la concordancia entre el parámetro ratio calor/frío y las temperaturas asociadas al sistema comprobándose que las ubicaciones con menores ratios de demanda calor/frío tienen una media de temperatura exterior (estado muerto) más elevada, lo que ha de repercutir en el rendimiento exergético al ser esta temperatura la de referencia para fijar el nivel de calidad de la energía implicada en el proceso (Borge et al., 2011).

Para cada una de las ubicaciones estudiadas y en función de las exigencias climáticas del entorno se ha calculado la energía de origen renovable entregada a lo largo del año para los diferentes usos, Fig. 59.

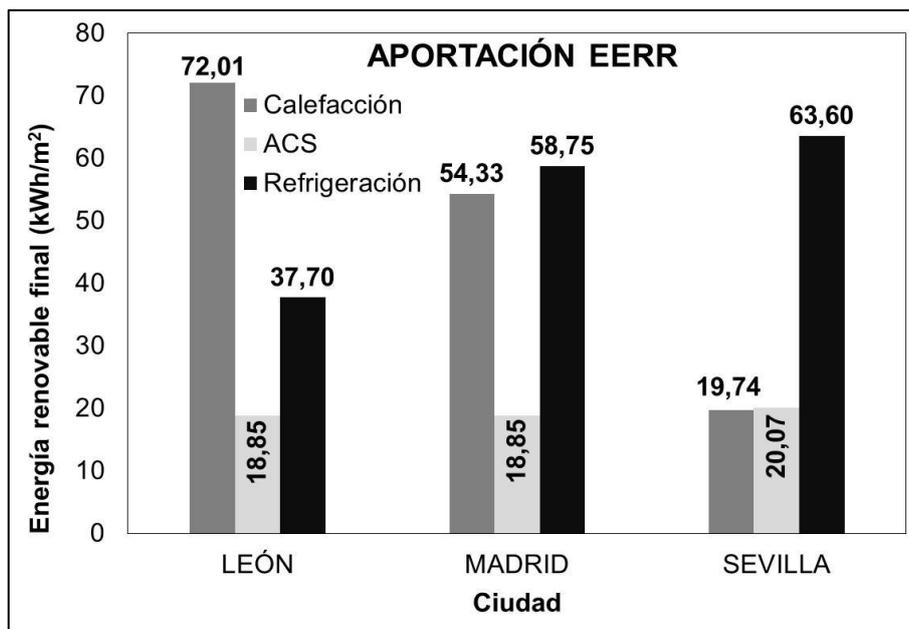


Fig. 59. Aportación de EERR para diferentes usos

Es importante mencionar las grandes diferencias entre las aportaciones para cada ciudad. Por ejemplo los valores entre León y Sevilla sugieren la necesidad de definir estrategias de cálculo capaces de adecuar el sistema a los requisitos específicos de demanda. Los tres supuestos analizados representan la totalidad de los casos a presentarse: en León la aportación al sistema de calefacción es aproximadamente el doble de la aportación al sistema de frío, en Madrid la aportación está prácticamente equilibrada y en Sevilla la aportación de frío es de una magnitud mucho mayor que la aportación para calentamiento. Los valores similares en el caso del ACS son motivados por la normativa al respecto de la que se ha hablado en apartados anteriores.

A partir de los datos de la simulación obtenida se calcula el rendimiento exergético medio a lo largo del año para cada ubicación y caso de utilización de la energía (con y sin calentamiento de ACS). Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 60, cuyo análisis arroja importantes incrementos del rendimiento exergético al aprovechar la energía solar térmica para precalentamiento de ACS. Las figuras presentan las variaciones de rendimiento exergético frente al ratio calor/frío lo que permite obtener importante información ya que dicho ratio define las aportaciones necesarias para cada utilización (calefacción, ACS y producción de frío) además de caracterizar la ubicación de la instalación.

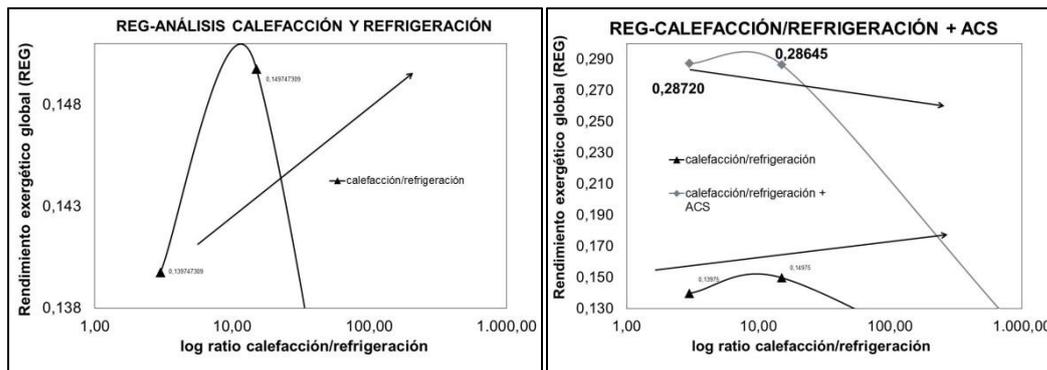


Fig. 60. Rendimientos exergéticos con y sin incluir el ACS

Se puede observar que no existen variaciones significativas cuando se realiza aprovechamiento del ACS ya que pese a que la temperatura del estado muerto (T_0) aumenta (lo que origina una disminución del rendimiento exergético global) a medida que aumenta el ratio calor/frío también lo hace la temperatura media de aportación obtenida en los colectores permitiendo por lo tanto compensar este decremento en el rendimiento. Este comportamiento es acorde con el hecho de que las zonas con ratios de demanda calor/frío más elevados poseen temperaturas de agua de red menores (T_{ACS}) lo que permite compensar la disminución de rendimiento exergético producido como consecuencia de la menor exergía disponible en el colector solar (menor nivel térmico). Analizando el sistema sin la producción de ACS se comprueba que a medida que aumenta el ratio de demanda calor/frío se produce un aumento del rendimiento exergético del sistema. Esto demuestra que tal y como se observa en la Fig. 60, la temperatura media ambiental inferior provoca un aumento significativo del rendimiento, lo que permite afirmar que el criterio actual de penalizar los entornos con bajos ratios de demanda de frío de cara a la instalación de sistemas de frío solar no es acertado siempre que se diseñe un sistema de apoyo a calefacción adecuado que permita aprovechar la energía entregada para este uso. Se observa en la Fig. 59 que la aportación para la ciudad con mayor ratio calor/frío es de 72,01 kWh/m² para León frente a los 19,74 kWh/m² de la ciudad con mayor demanda de frío en el caso de Sevilla. Esta aportación superior en más de tres veces permite elevar el rendimiento al producirse la entrega de energía en unas condiciones de temperatura exterior (T_0) inferior respaldando de este modo los planteamientos teóricos iniciales.

Según el segundo principio de la termodinámica, aplicado a los sistemas de absorción de LiCl-H₂O y estableciendo un modelo de orden cero se puede determinar cuál es la mínima temperatura de aportación exigible al sistema de frío en función de las temperaturas del foco frío (T_{refrig}) y del sumidero térmico (T_{ST}). Debido a los fenómenos de transmisión de calor asociados a los diferentes intercambiadores de

calor, los niveles térmicos no coincidirán y existirán unos saltos de temperatura asociados. Se establece de este modo un parámetro de salto térmico asociado a la transmisión de calor denominado ΔT_{trans} . La ecuación permite calcular la temperatura mínima teórica T_{teo} , (21) y (22).

$$T_{teo} = \Delta T_{salto} + 4\Delta T_{trans} + T_{refrig} \quad (21)$$

$$\Delta T_{salto} = T_{refrig} - T_{alim} \quad (22)$$

La ecuación muestra que la diferencia de nivel térmico necesaria para el intercambio de calor posee un efecto más relevante en la temperatura de alimentación. Aplicando el caso para el sistema estudiado se comprueba que para obtener valores de COP superiores a 0,5 son necesarios valores de alimentación de la máquina de absorción del orden de 50 °C más que la temperatura del foco de disipación (T_{ST}) lo que implica valores mínimos para los tres casos de estudio de 85 °C. Analizando estadísticamente los valores obtenidos, Tabla 52, se demuestra la influencia de la temperatura exterior (T_o) en el rendimiento exergético para las tres localizaciones validando el estudio.

Tabla 52. Análisis de varianza

Localización	Análisis estadístico
León	R-squared=2,75835% Adjusted R-squared=2,73614% Estimation standard error=0,115215 Mean absolute error=0,0557797 Durbin-Watson=1,06453 (P=0,0000) Residue autocorrelation Lag 1=0,46772
Madrid	R-squared=2,54215% Adjusted R-squared=2,51989% Estimation standard error=0,117246 Mean absolute error=0,0562204 Durbin-Watson=1,05471 (P=0,0000) Residue autocorrelation Lag 1=0,47263
Sevilla	R-squared=2,45323% Adjusted R-squared=2,45386% Estimation standard error=0,116176 Mean absolute error=0,0557797 Durbin-Watson=1,05452 (P=0,0000) Residue autocorrelation Lag 1=0,46342

Realizando un análisis de varianza para el valor del rendimiento exergético del sistema, evaluando como factor el ratio de demanda calor/frío, se obtiene que no existe relación estadística entre el valor del rendimiento exergético global del sistema (produciendo ACS) y los ratios de demanda calor/frío o cualquiera de las temperaturas implicadas. Este resultado tan significativo remarca que una instalación de frío solar instalada en una vivienda que cumpla con los requisitos legales existentes en España en lo referente a la aportación de ACS con energía solar térmica posee un rendimiento exergético significativamente similar, siempre que el dimensionamiento de los ratios de aportación para cada uso (calefacción, calentamiento de agua y refrigeración) sean los adecuados, lo que permite establecer y garantizar la rentabilidad de estos sistemas para cualquier localización.

5.1.4.6. Conclusiones experimentales y de uso de la herramienta

Mediante el uso de este ensayo propuesto se demuestra que los análisis exergéticos aplicados a los componentes del sistema son útiles para el diseño de cada uno de ellos así como en la fase de ingeniería en cada caso, si bien no arrojan información útil a la hora de dimensionar el sistema. Un análisis exergético global de la vivienda considerando ésta como un único ente energético que intercambia materia y energía con el entorno permite establecer estrategias de control y dimensionado del conjunto conducentes a maximizar la eficiencia logrando de este modo rendimientos exergéticos similares independientemente de la localización, siempre y cuando se maximice la utilización de la energía solar térmica para el uso prioritario en esa ubicación, demostrando que la tendencia generalizada a considerar que las ubicaciones con un ratio elevado de demanda calor/frío no son idóneas para la implantación de sistemas de frío solar es errónea. Rendimientos aceptables e incluso mayores que en zonas con alta demanda de refrigeración se pueden conseguir diseñando un sistema que maximice el aprovechamiento de energía solar térmica para uso en modo calefacción y que valore la energía que se considera residual para calentar una piscina, lo que permite aportar un efecto útil que alarga el periodo de baño que en zonas con alta demanda de calefacción es habitualmente demasiado corto. Con esta estrategia se permite valorizar tanto el sistema de captación solar térmica y producción de frío como la propia piscina al lograr temperaturas de confort en el agua que puedan hacer que la construcción de la misma se considere rentable. Los sistemas de EST de alta temperatura de captación como tubos de vacío y heat pipes elevan el rendimiento teórico, si bien provocan problemas en las instalaciones reales a la hora de evacuar los excesos de calor y asegurar la adecuada disipación de calor de la máquina. Los sistemas de energías renovables basados en biomasa

permiten obtener elevadas temperaturas que maximizan la potencia instantánea del equipo de absorción pudiendo ser la solución de futuro en entornos donde el suministro de este combustible esté asegurado aunque también serán necesarias temperaturas menores en el foco de disipación. Todas estas conclusiones sugieren que las investigaciones y desarrollos futuros deben centrarse en establecer sistemas de disipación que permitan obtener temperaturas inferiores a las de una piscina exterior. La geotermia se perfila como una solución si bien los costes asociados actuales no permiten rentabilizar la instalación en pequeños sistemas de viviendas, lo que sugiere que el uso combinado con la piscina puede ser una solución al problema. Sistemas combinados de ambas soluciones también puede estudiarse en instalaciones que cuenten con captación geotérmica y piscina.

Mediante el uso intensivo de aplicaciones experimentales o reales en edificios, integradas en el protocolo del laboratorio remoto el usuario puede realizar ensayos que permitirán mejorar el conocimiento sobre el uso de la herramienta y también disminuir el riesgo asociado a la instalación de estos sistemas. Este tipo de ensayos contribuirán, además, a mejorar la tecnología existente y el perfil profesional de los expertos en este ámbito.

5.1.5. Análisis de instalaciones fotovoltaicas en edificios para autoconsumo en balance neto

Las instalaciones de energía solar fotovoltaica han sufrido un gran crecimiento y desarrollo en Europa y especialmente en los países del sur (España, Portugal, Italia y Grecia) durante los últimos años si bien este desarrollo masivo se ha producido de forma mayoritaria en los sistemas conectados a red. Existe una importante oportunidad de mejora de la eficiencia energética y de disminución del consumo de energía primaria mediante la promoción de las instalaciones aisladas para autoconsumo. Pese a que la tecnología ya está madura existe una falta de profesionales cualificados en la materia y de difusión real entre la sociedad de las ventajas y condicionantes técnicos asociados a esta tecnología. El laboratorio remoto puede integrar, de forma sencilla, instalaciones que actualmente están conectadas a la red para realizar ensayos sobre cuáles serían los beneficios, costes y características asociados a la instalación de una planta fotovoltaica para autoconsumo. La creciente adaptación de la normativa vigente en la materia se centra mayoritariamente en la instalación de sistemas fotovoltaicos orientados al autoconsumo con una modalidad de balance neto. Con esta modalidad de funcionamiento la instalación fotovoltaica se encuentra conectada a la red y vierte a la misma los excedentes de energía cuando esta no puede ser consumida. Del mismo modo y en momentos de ausencia de radiación solar o de demanda mayor a la acumulada en las baterías o de la que puede ser suplida en esos momentos, la conexión se utiliza para recibir energía eléctrica de la red. Existe un balance neto entre la energía vertida a la red y la adquirida, de modo que se produce una integración efectiva de la tecnología fotovoltaica de gran penetración en instalaciones de pequeña potencia.

En este experimento, cuyas principales características se enumeran en la Tabla 53, el usuario accede a los datos reales de consumos eléctricos en edificios y puede diseñar a medida la instalación fotovoltaica completa incluyendo todos los componentes necesarios y realizando un análisis detallado de la instalación, tanto a nivel técnico como económico. Esto aporta a profesionales en activo y a personal en formación unos conocimientos de alto valor añadido que les capacitan para poder diseñar, de forma similar, instalaciones reales. El sistema puede incluir tantos edificios como se desee, simplemente añadiendo sistemas de teledata basados en diferentes protocolos. El uso extensivo de la tecnología PLC será un vector que facilitará la inclusión masiva de instalaciones y facilitará el acceso a la información con alta velocidad y confiabilidad. Para dotar al experimento de mayor capacidad de análisis

se ha incluido la posibilidad de realizar un análisis de la posibilidad de incluir un sistema mixto utilizando pequeños sistemas de aerogenerador.

Tabla 53. Experimento sobre sistemas Fotovoltaicos aislados para autoconsumo en balance neto

Destinatarios	Alumnado universitario Formación a profesionales en activo Concienciación sobre tecnologías limpias	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de medida eléctrica con acceso mediante tecnología GPRS/GSM.
	Futurible	Sistema de medida eléctrica basado en tecnología PLC y acceso mediante dispositivos portátiles y móviles con alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja de cálculo	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de una herramienta de análisis y diseño de instalaciones fotovoltaicas aisladas orientadas al autoconsumo en modalidad de balance neto</p> <p><u>Proporcionar</u> al usuario un sistema que le permita analizar el comportamiento de la instalación ante diferentes componentes, sistemas de acumulación, regulación o ubicación</p> <p><u>Concienciar</u> de la posibilidad de optar por el autoconsumo como una opción más dentro del abanico de soluciones de suministro de energía eléctrica</p>	
Metodología docente	Estudio autónomo por parte de usuario Sesión formativa magistral Exposición en modo presentación Formación colaborativa e interactiva Investigación autónoma o en equipo	

Análisis de instalaciones fotovoltaicas en edificios para autoconsumo en balance neto.

Formación universitaria y a profesionales.

Sector residencial.

Hoja de cálculo.

Resumen de objetivos del experimento.

Con la capacidad existente de poder registrar y medir en tiempo real el consumo eléctrico de diferentes instalaciones, prioritariamente de tipo residencial, se ha integrado un registro de consumos energéticos con la herramienta del laboratorio. A partir del perfil de consumo de

profesional adquieren capacidades reales de diseño y de análisis a partir de instalaciones reales. Los nuevos sistemas de medida de tipo AMR facilitan en gran manera la integración de nuevos sistemas en el laboratorio y garantizan una escalabilidad total. El

El usuario puede comprobar cómo se comportarían diferentes instalaciones monitoreadas si contaran con una instalación fotovoltaica para autoconsumo y diseñarla.

instalaciones reales o de datos introducidos en la propia herramienta el usuario puede diseñar de forma completa un sistema fotovoltaico aislado y analizar cuál es la producción fotovoltaica, la acumulación necesaria, los parámetros de influencia y calcular el ciclo de costes durante la vida de la instalación, además de analizar todos los parámetros económicos y financieros del sistema. De este modo tanto el estudiante como el futuro

ensayo también permite valorar la generación energética incluyendo en el sistema un aerogenerador eólico de pequeña potencia.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza un protocolo de lectura y acceso a los registros basado en GPRS/GSM que se utiliza para transmitir las lecturas de energía eléctrica almacenadas en el contador de energía eléctrica para propósito fiscal. El uso de tecnologías de tipo PLC facilita la integración de muchas más instalaciones, disminuye los costos de acceso y aumenta la confiabilidad.

5.1.5.1. Descripción del sistema de ensayos

La herramienta cuenta con dos partes diferenciadas, una primera orientada al análisis del perfil de consumo y otra orientada al diseño de los componentes. Toda la base de datos asociada a los componentes es totalmente actualizable, lo que garantiza que no hay posibilidad de obsolescencia de la herramienta.

En la parte de análisis de demanda y de generación, mostrada en la Fig. 62, el usuario puede introducir cargas de demanda de modo manual o proceder a la carga de datos reales de una instalación.

Tras seleccionar la ubicación el usuario puede diseñar de forma completa toda la instalación y obtener el balance de energía a lo largo del año, Fig. 61. En todo momento la herramienta emite alertas sobre el correcto dimensionado y proporciona capacidad de trabajo autónomo al usuario y le orienta a la detección y subsanación de fallos. Esta filosofía de trabajo permite que sea el propio usuario quien pueda detectar fallos de dimensionado, analizar la influencia de los parámetros y variables en la energía generada, proponer mejoras y analizar el efecto de sus propuestas. En caso de un uso participativo con un docente este tiene una inestimable herramienta para facilitar la asimilación por parte del alumnado.

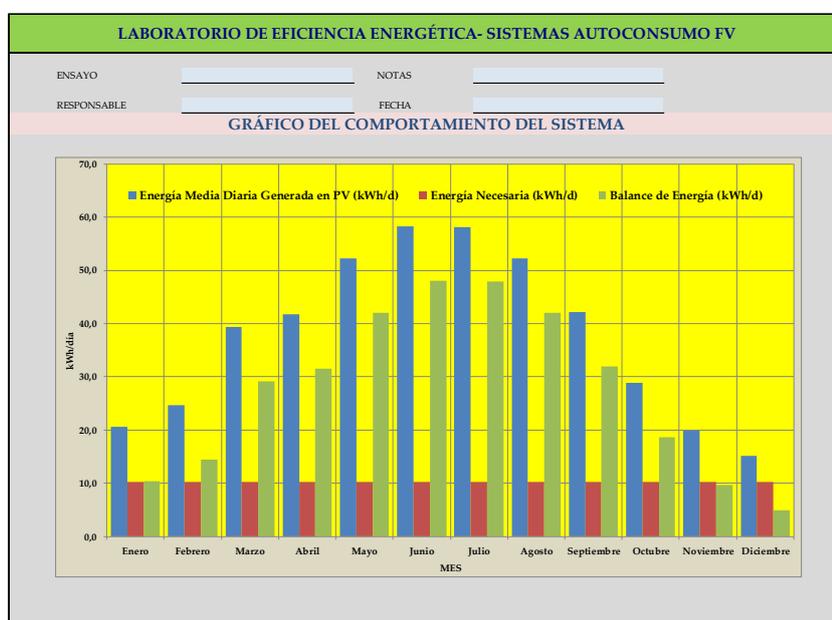


Fig. 61. Balance energético del sistema

En el apartado de selección de componentes se deben seleccionar de forma completa el campo de paneles fotovoltaicos, el regulador y el inversor, Fig. 63.

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA- SISTEMAS AUTOCONSUMO FV

ENSAYO

NOTAS

RESPONSABLE

FECHA

DIMENSIONADO GENERADOR PV

Grado de Viabilidad Técnico/Económica: 3

INFORMACION DEL MÓDULO PV

Marca y Modelo			
Tipo			
Potencia (Wp)			
V _{mp} (V)	17,40	Voc (V)	21,70
I _{mp} (A)	4,60	Isc (A)	5,01

ADVERTENCIAS AL DIMENSIONADO

Intensidad corregida (A)	Factor de corrección del módulo	Intensidad de diseño corregida	Intensidad nominal del módulo (A)	Módulos en paralelo min. Recomendados	Módulos en serie min. Recomendados	Módulos en paralelo seleccionados	Módulos en serie seleccionados	Potencia Pico Generador (Wp)
26,84	0,9	29,82	4,60	7	3	34	4	0

Tensión nominal del sistema (V)	Tensión nominal del módulo (V)	Módulos en Paralelo	Módulos en Serie	Total Módulos	Tensión Máxima del sistema (V)	Tensión Máx. Necesaria Para Flotación (V)	Tensión Máx. Necesaria Para Ecuilibración (V)	Temperatura Ambiente máxima °C	Temperatura de célula con Irradiancia máxima °C	Tensión de circuito abierto a Tc (V)
48	17,40	34	4	136	86,80	54,00	56,40	30	60,38	71

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA- SISTEMAS AUTOCONSUMO FV

ENSAYO

NOTAS

RESPONSABLE

FECHA

ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA

INVERSOR

Requerimientos del sistema

Forma de onda	MODIFICADA
Tensión DC (V)	48
Tensión AC (V)	220
Potencia Máxima (W)	8862,40
Coefficiente de simultaneidad (%)	75
Potencia Nominal mín necesaria (W)	6421,80
Tiempo de operación en sobrecarga (min)	
Rendimiento a carga nominal (%)	0,90

Especificaciones Inversor/es

Marca	Ecosolar
Modelo	5000
Forma de onda	SENOIDAL MODIFICADA
Tensión (DC)	48
Tensión (AC)	220
Potencia nominal (W)	3500
Potencia max	6000
N° inversores MIN. necesarios	2

Características:

Carga de batería	NO
Voltmetro	NO
Control remoto	NO
Arranque de generador aux.	SI
Commutador de cambio	SI
Seguimiento MPP	NO

ADVERTENCIAS AL DIMENSIONADO

CONVERTIDOR DC/DC

Requerimientos del sistema

Tensión DC entrada (V)	
Tensión DC salida (V)	
Potencia de salida (W)	
Temperatura de operación (°C)	

Especificaciones convertidor DC/DC

Marca	
Modelo	
Tensión de entrada (V)	
Tensión de salida (V)	
Intensidad salida (A)	
Temperatura de operación (°C)	

Características:

Tensión de salida regulable	
-----------------------------	--

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA- SISTEMAS AUTOCONSUMO FV

ENSAYO

NOTAS

RESPONSABLE

FECHA

ESPECIFICACIONES DEL REGULADOR DE CARGA

INFORMACION DEL REGULADOR DE CARGA

Modelo	SOLARTEC RC
Tipo	RC48-N
Tensión (V)	48

Puntos de corte ajustables

Compensación de temperatura	SI
Tensión corte sobrecarga	SI
Tensión corte sobredescarga	SI
Tensión rearme sobredescarga	
Seguidor MPP	
Protección Intensidad inversa	

Necesidades del Sistema

Tensión sistema (V)	48
Intensidad sistema (A)	212,93
Intensidad DC carga (A)	0,00

ADVERTENCIAS AL DIMENSIONADO

SE RECOMIENDA SUBDIVIDIR EL GENERADOR FOTOVOLTAICO EN 6 SUBCAMPOS DE 6 PANELES EN PARALELO Y 4 PANELES EN SERIE CADA SUBCAMPO PARA ELLO ES NECESARIO AUMENTAR EN 2 PANELES MÁS CADA RAMA DE PARALELOS

Isc del generador (A)	Intensidad mínima del regulador (A)	Intensidad nominal del regulador (A)	Reguladores en paralelo
170,34	212,93	40	6

Fig. 63. Selección y configuración del campo Fotovoltaico, regulador e inversor

Para aumentar la capacidad de cálculo y docente del laboratorio se propone que el dimensionado no se limite sólo a estos componentes puramente integrantes de la parte fotovoltaica sino que se incluye una sección de cálculo de las protecciones y del cableado, Fig. 64 y Fig. 65.

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA- SISTEMAS AUTOCONSUMO FV											
ENSAYO			NOTAS								
RESPONSABLE			FECHA								
COMPONENTES DE PROTECCIÓN											
Generador-Reguladores											
Intensidad máxima del generador (A)	Intensidad mínima del generador (A)	Vdc del generador (V)	Interruptor Calculado	Fusible Calculado	Interruptor Comercial	Fusible comercial					
25,39	35,49	86,80	Intensidad Máxima (A)	44,36	44,36						
			Tensión Máxima (V)	86,80	86,80						
			Tipo								
Reguladores-Consumo DC											
Intensidad máxima de consumo (A)	Máxima intensidad DC (A)	Tensión máxima DC (V)	Interruptor Calculado	Fusible Calculado	Interruptor Comercial	Fusible comercial					
0,00	0,00	48	Intensidad Máxima (A)	0,00	0,00						
			Tensión Nominal (V)	48,00	48,00						
			Tipo								
Batería-Inversor											
Potencia nominal del inversor (W)	Rendimiento	Tensión máxima DC (V)	Interruptor Calculado	Fusible Calculado	Interruptor Comercial	Fusible comercial					
3500,00	0,90	48	Intensidad Nominal (A)	101,27	101,27						
			Tensión Nominal (V)	48,00	48,00						
			Tipo								
Inversor-Consumo AC											
Intensidad máxima AC (A)	Intensidad máxima AC corrigida	Tensión máxima AC (V)	Interruptor Calculado	Interruptor Diferencial Calculado	Magneto térmico Comercial	Interruptor diferencial Comercial					
	fVALOR: 220		Intensidad Nominal (A)	fVALOR: 220,00	fVALOR: 220,00						
			Tensión Nominal (V)	220,00	220,00						
			Tipo								
Otros interruptores											
Intensidad máxima (A)	Intensidad máxima corregida (A)	Tensión máxima (V)	Interruptor Calculado	Fusible Calculado	Interruptor Comercial	Fusible comercial					
	0,00		Corriente Nominal (A)	0,00	0,00	16,00					
			Tensión Nominal (V)	0,00	0,00	24,00					
			Tipo								
	0,00		Corriente Nominal (A)	0,00	0,00						
			Tensión Nominal (V)	0,00	0,00						
			Tipo								
	0,00		Corriente Nominal (A)	0,00	0,00						
			Tensión Nominal (V)	0,00	0,00						
			Tipo								

Fig. 64. Diseño y configuración de las protecciones

LABORATORIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA- SISTEMAS AUTOCONSUMO FV													
ENSAYO			NOTAS										
RESPONSABLE			FECHA										
CABLEADO DEL SISTEMA													
Tamaño de Conductores	Tensión del sistema (V)	Máxima intensidad (A)	Longitud (m)	Cadidas de tensión calculada permitida (%)	Sección calculada mm ²	Sección comercial mm ²	Cadidas de tensión real según sección comercial (%)	Imax admisible por el cable (A)	Corrección por T°	Corrección por n° cables y tipo mismo conductor	Imax admisible corregida (A)	Cumplimiento con sistema de protección	Cumplimiento Sección comercial
SISTEMAS DC													
Generador a Regulador	48	35,49	20	3	17,55	10	0,26	49	1	1	49,00	sección correcta	sección correcta
Batería a Inversor	48	125,00	2	1	18,54	50	0,37	120	1	1	130,00	sección correcta	sección correcta
Regulador a batería	48	34,07	6	1	15,16	10	1,52	49	1	1	49,00	sección correcta	sección correcta
SISTEMAS AC													
Inversor a consumo AC	220	fVALOR: 220	50	3	fVALOR: 10	10	fVALOR: 50	1	1	1	50,00	sección correcta	fVALOR:
OTROS CIRCUITOS													
											0,00	sección incorrecta	sección incorrecta
											0,00	sección correcta	sección incorrecta
											0,00	sección correcta	sección incorrecta
											0,00	sección correcta	sección incorrecta
PUSTA A TIERRA													
Puesta a Tierra de equipos	Sección		Tipo de puesta a tierra										
Puesta a Tierra del sistema													

Fig. 65. Diseño y configuración del cableado

Dado que los sistemas aislados de generación fotovoltaica funcionando en una tipología de balance neto se adaptan, siempre que las condiciones de disponibilidad de recurso eólico lo permitan, de forma idónea al uso combinado con energía fotovoltaica se ha incluido una opción de diseño de instalación mixta fotovoltaica-minieólica. En este caso se presenta al usuario una solución que incluye una optimización del dimensionado que garantiza el adecuado funcionamiento y operatividad a lo largo de todos los meses de año. Esta opción aporta un valor añadido al laboratorio para aquellas necesidades docentes en las que sea oportuno introducir el uso combinado de más de una tecnología, Fig. 66.

Finalmente el usuario puede realizar un análisis del coste de vida de la instalación que incluye el análisis de todas las opciones de financiación, depreciación, costes de mantenimiento, operación y sustitución. Con estos resultados el usuario puede además de dimensionar la instalación conocer las variables económicas asociadas a la misma, lo que le permite abordar con garantía retos que se le puedan presentar en este campo, Fig. 67 y Fig. 68.

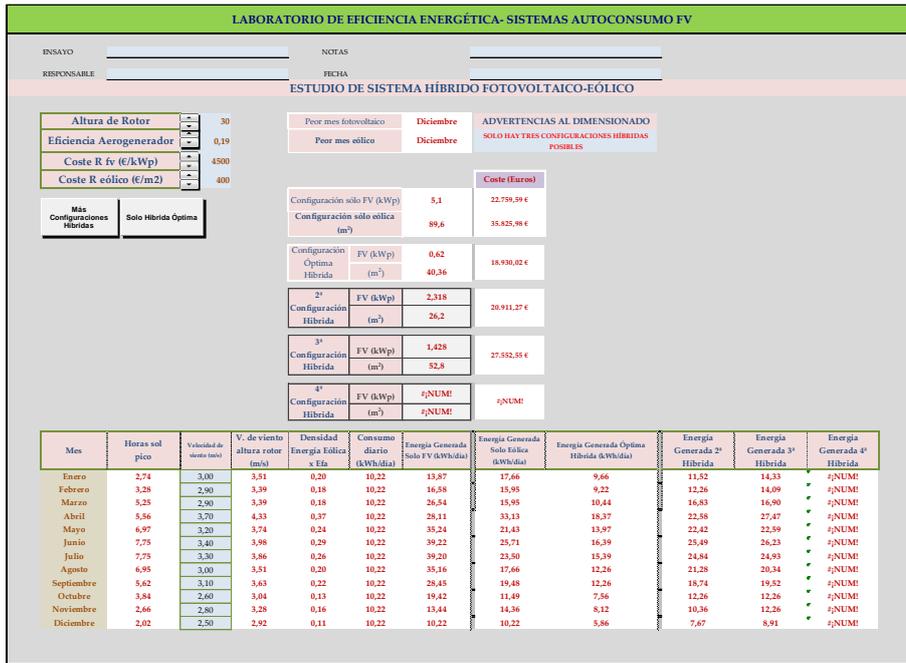


Fig. 66. Sistema mixto eólico y fotovoltaico

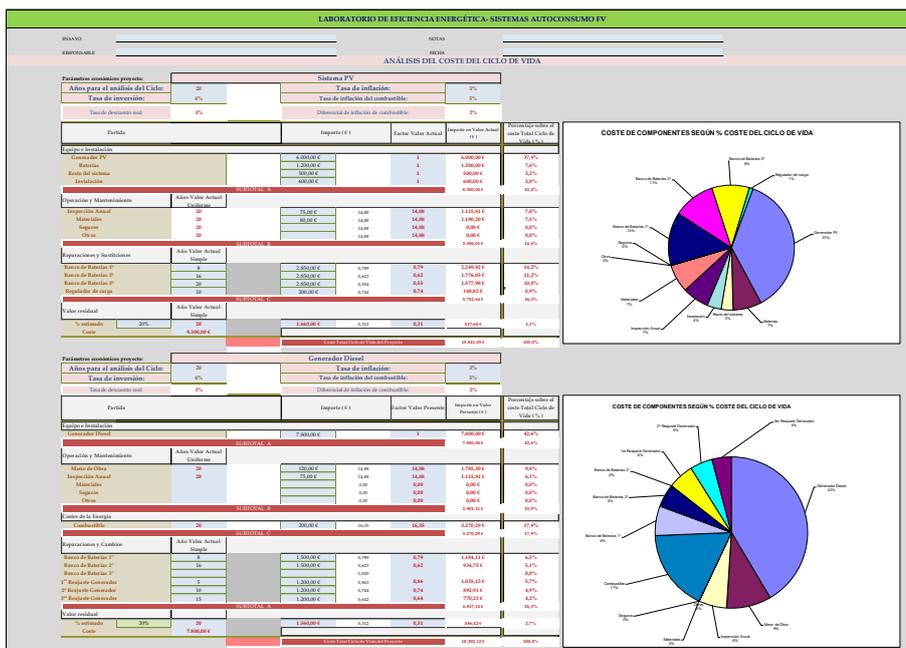


Fig. 67. Análisis del ciclo de costes

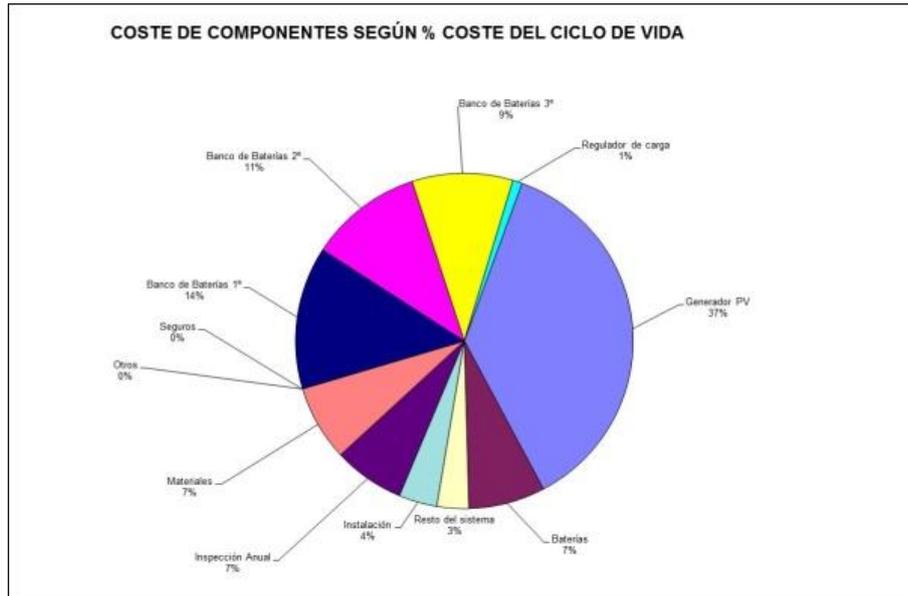


Fig. 68. Detalle gráfico de costes

5.1.6. Diseño de edificios pasivos en un marco de cooperación al desarrollo

Tal y como se ha indicado en los capítulos de introducción de esta tesis existe también una vocación de creación de herramientas, aportación de conocimiento y propuesta de sistemas de docencia orientados a la cooperación al desarrollo. La situación energética es compleja y complicada en Europa y España pero estos problemas se magnifican en el caso de países en vías de desarrollo o subdesarrollados donde el acceso a los suministros energéticos es mucho más complejo e incluso inexistente. Dentro de esta situación cabe especial mención las situaciones que implican el desplazamiento de personas como consecuencia de desastres naturales, condicionantes políticos o humanitarios. En este apartado se propone un entorno de realización de ensayos e impartición de docencia en materia de edificación pasiva de bajo coste para la construcción de refugios y pequeñas viviendas en lugares con situaciones humanitarias como las descritas anteriormente. El sistema propuesto consiste en la utilización de herramientas de análisis energético de la edificación, que siguiendo la filosofía del laboratorio pueden ser de pago o libres, y que proporcionan al usuario la capacidad de ensayar soluciones de dimensionado para viviendas en diferentes localizaciones remotas. Se propone un sistema de adquisición de datos de las bases de datos de diferentes organismos internacionales, que permiten recopilar las condiciones climáticas en las zonas donde se plantea la realización del edificio. Con estas herramientas el usuario puede proponer diferentes diseños, evaluarlos y analizar qué técnicas disminuirán la demanda energética del edificio o aportarán unos niveles aceptables de confort sin uso de energía, ya que hay que tener en cuenta que en muchas ocasiones en estas situaciones no existe acceso a fuentes de generación energética de ningún tipo. Las principales características se resumen en la Tabla 54.

Tabla 54. Diseño y evaluación de tecnologías pasivas en edificios para cooperación al desarrollo

Destinatarios	Alumnado universitario, Doctorado Formación a profesionales en activo orientados a la cooperación internacional Concienciación sobre técnicas pasivas aplicadas a cooperación al desarrollo	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de acceso a bases de datos internacionales para descarga de datos de condiciones climáticas de las ubicaciones estudiadas
	Futurible	Acceso a sistema de monitoreo de viviendas y refugios construidos para la evaluación de condiciones ambientales y la propuesta y ensayo de mejoras
Herramienta de análisis propuesta	Hoja de cálculo Sistema de simulación dinámica de edificios basada en EnergyPlus: OpenStudio, Design Builder	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de una plataforma de análisis y propuesta de soluciones pasivas para el diseño y construcción de viviendas y refugios en zonas de países en vías de desarrollo</p> <p><u>Proporcionar</u> al usuario una metodología que permita cuantificar los beneficios y consecuencias derivadas de la implantación de tecnologías pasivas en edificios</p> <p><u>Concienciar</u> de la necesidad de avanzar en soluciones que permitan, con un bajo coste, mejorar las condiciones de vida de los diferentes colectivos que se encuentran en situación de exclusión en el mundo o desplazados por motivos humanitarios</p>	
Metodología docente	Estudio autónomo por parte de usuario Sesión formativa magistral Exposición en modo presentación Formación colaborativa e interactiva Investigación autónoma o en equipo	

En fases futuras de desarrollo de la tecnología se propone que se integre en la infraestructura un sistema de monitoreo de condiciones térmicas de diferentes viviendas o refugios orientados a proporcionar refugio de bajo coste a personas. Con estos datos y mediciones será posible analizar con las herramientas propuestas diferentes soluciones de tipo pasivo para evaluar cómo mejorarían o cambiarían las condiciones interiores del edificio con la aplicación de técnicas pasivas.

Diseño de edificios pasivos en un marco de cooperación al desarrollo.

Formación universitaria a nivel Doctorado y de profesionales.

Sector edificación y cooperación al desarrollo.

Hoja de cálculo y sistemas de simulación dinámica.

Resumen de objetivos del experimento.

Las técnicas de edificación pasivas, orientadas a minorar la demanda energética de los edificios y a suplir las demandas de calor y frío de modo pasivo, son habitualmente reportadas y referenciadas en la bibliografía y en diferentes y diversos usos pero no se aplican masivamente al sector de la

y refugios en un ámbito de cooperación al desarrollo. En futuros desarrollos del laboratorio edificios construidos y monitoreados pueden ser incluidos en la infraestructura, lo que permitiría tener un seguimiento de las condiciones interiores de los sistemas y proponer,

El usuario utiliza herramientas de simulación dinámica de edificios para evaluar el comportamiento de las viviendas de bajo coste al incluir técnicas pasivas.

cooperación al desarrollo. Es en este ámbito donde estas técnicas se pueden utilizar para mejorar las condiciones de vida de un gran número de personas que se encuentran en una situación de vida desfavorable, como consecuencia de catástrofes naturales o humanitarias. En este ensayo se propone un sistema de ensayos de implementación de sistemas pasivos en edificios de bajo coste orientados a la construcción de viviendas

de modo eficaz, soluciones y opciones de mejora.

Tecnologías utilizadas

•••

Los datos de condiciones climáticas son descargadas de diferentes bases de datos internacionales, lo que permite analizar y proponer diferentes técnicas pasivas y analizar cuál es el impacto que dichas tecnologías tienen en las condiciones interiores de la vivienda y por lo tanto en las condiciones de vida de sus ocupantes. En un futuro desarrollo del laboratorio se pueden incorporar mediciones reales de sistemas de monitoreo de viviendas y refugios para poder analizar el comportamiento real y proponer mejoras a la vez de realizar formación en la materia.

5.1.6.1. Marco de desarrollo y aplicaciones

El propio desarrollo de la herramienta docente sobre sistemas pasivos integrados en edificación se ha validado realizando análisis de sistemas pasivos y analizando su influencia en las condiciones de confort en el edificio.

Los sistemas de climatización pasivos se están convirtiendo en una técnica de aplicación usual para reducir el consumo de energía en edificios. Estas tecnologías no se usan habitualmente para su implantación en edificios centrados en cooperación al desarrollo. En el año 2010 más de 42,3 millones de personas fueron forzadas a abandonar sus viviendas y a vivir en refugios temporales. Las viviendas que son para uso de niños, ancianos o enfermos tienen que ser climatizadas. Se analiza en el ensayo propuesto cuál es la influencia de las técnicas pasivas en la reducción del coste inicial y en el coste de operación cuando se implantan tecnologías pasivas. La optimización de la ubicación y distribución exterior utilizando cálculos de tipo CFD (Computer Fluid Dynamics) permite reducir la demanda energética en fase de diseño sin aumentar el coste. Además el uso combinado con sistemas pasivos puede reducir el consumo de energía primaria hasta un 40% y la potencia pico de demanda en un 50%. Estas reducciones conllevan una disminución en el coste inicial y en el de utilización, mejoran el confort interior y deberían ser una de las estrategias habitualmente evaluadas en fase de diseño.

5.1.6.2. Necesidad de desarrollo de soluciones para viviendas en campos de refugiados

Debido a diferentes situaciones, que pueden ser naturales o antropogénicas, muchas personas alrededor del mundo viven en malas condiciones como Personas Desplazadas Internamente (PDI). Según estudios de la Oficina de la ONU y Comisionado para los Refugiados (UNHCR) se puede considerar que un PDI es una persona que está desplazada en su propio país debido a desastres naturales, guerras, conflictos o violación de los derechos humanos (UNHCR, 2012). Este tipo de desplazados son los que suponen un mayor número y en los que la UNHCR está centrado sus esfuerzos en estos años. En 2010 aproximadamente 27,5 millones de personas fueron desplazadas a nivel interno por causas de violencia y adicionalmente más de 42,3 millones de persona abandonaron sus hogares de forma forzosa por causa de desastres naturales. Algunos de estos ejemplos se han producido en Haití, Pakistán, Afganistán, Somalia o Yemen. El número de PDIs sigue creciendo y aumentando. En el año 2011 se han atendido más de 17 millones de PDIs. Los PDIs

son el colectivo desplazado más desfavorecido a nivel mundial, según diferentes organismos ya que a diferencia de un emigrante, que suele desplazarse para mejorar sus condiciones, un PDI es un desplazado forzoso y viven en condiciones críticas ya que su propio estado tampoco les ampara en su protección. Diferentes organismos buscan cómo salvaguardar las condiciones de salubridad para los PDIs pero el objetivo final es proporcionarles un hogar estable donde desarrollar sus vidas. En las soluciones temporales se suele optar por tiendas de campaña y posteriormente se construyen refugios temporales de bajo coste. Habitualmente en estas zonas no existe acceso a fuentes energéticas eléctricas ni térmicas y los refugios carecen por lo tanto de cualquier sistema de climatización. Debido a ello las condiciones internas de vida y confort son muy malas.

Los edificios que tienen que ser climatizados por cuestión del tipo de población que la usará (prioritariamente ancianos, niños y enfermos) se climatizan utilizando sistemas de generación de energía autónomos, habitualmente generadores eléctricos portátiles. Los sistemas de climatización pasiva se pueden utilizar para reducir la demanda energética del refugio y por lo tanto disminuir la potencia necesaria en los equipos de climatización, la inversión inicial y el consumo de energía durante la vida útil del refugio. Además existe una oportunidad de hacer más sostenible el funcionamiento del propio edificio mediante la implementación de un sistema de generación de frío por absorción alimentado con energía solar térmica frente a un sistema clásico de refrigeración por expansión directa (CCV). Estos sistemas proporcionan una solución de enfriamiento mediante el aprovechamiento de la EST. El uso de técnicas pasivas permite, también en este caso, reducir la potencia térmica necesaria en los colectores solares, disminuir la potencia del sistema de absorción y mejorar el confort interno durante la operación. Finalmente el objetivo final de un refugio es proporcionar una estancia a los PDIs: el uso de técnicas pasivas permite que el refugio temporal pueda ser usado como vivienda habitual en un futuro debido a que se logran mejores condiciones de confort.

En el caso de estudio propuesto se realiza la evaluación y diseño de las tecnologías pasivas en un campo de refugiados en Centro América para evaluar el efecto real que tienen estas tecnologías.

5.1.6.3. Diseño experimental del refugio y optimización con técnicas pasivas

Cuando se produce el regreso desde un campo temporal (habitualmente en tiendas de campaña) a la zona de vivienda estable se deben construir edificios que tenga un bajo coste pero que sean lo más confortables posibles. Desafortunadamente

hay millones de personas que no regresan nunca a su zona de residencia habitual, ejemplos de este tipo pueden encontrarse en Yemen, Somalia, Palestina y muchos otros lugares.

La construcción de refugios o de nuevas viviendas en estas zonas no es sencilla debido a la ausencia de técnicos cualificados tanto para el diseño como para la propia construcción del edificio. Las tecnologías de construcción pasivas que requieran complejos sistemas de construcción in situ quedan por lo tanto desechados ya que a nivel real y práctico no sería posible implantarlos. Se propone en este caso el uso de sistemas de construcción pasiva de alta sencillez, bajo coste de implantación y bajo coste de construcción, de modo que puedan ser efectivamente construidas viviendas con características como las estudiadas.

La primera parte que se debe de analizar es el propio diseño en planta y ubicación de los edificios. La distribución de las viviendas, su colocación, distribución y diseño de planta influye de forma determinante en la demanda de energía, en el consumo de energía para climatización y en las condiciones de confort. El uso de técnicas de simulación CFD se propone como la solución idónea para optimizar la distribución en planta de los edificios. Las simulaciones CFD permiten analizar la distribución exterior de velocidades, presiones y temperaturas y analizar cómo varían las mismas al modificar la distribución externa de los edificios. La simulación basada en el sistema de volúmenes finitos permite obtener una solución de las ecuaciones en derivadas parciales (EDPs) que describen el comportamiento de un fluido, (23).

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S \quad (23)$$

Con este método de cálculo estas ecuaciones se convierten en un sistema algebraico de ecuaciones que puede ser resuelto numéricamente. Los espacios a análisis se dividen en una serie de celdas rectilíneas que constituyen el volumen finito. Para cada celda se establece el sistema de ecuaciones y luego para todo el conjunto de celdas. Se establecen relaciones que permiten clasificar las variables dependientes entre puntos de la malla y sus vecinos de modo que la discretización para una dimensión se consigue mediante (24), que de escrita de un modo diferente cuenta con los términos P que representa el punto de estudio y W y E los puntos adyacentes situados al este y al oeste, (25). La distancia media entre P y W se representa por w (que corresponde a la distancia $(x)w/2$) y la distancia media entre P y E se representa por e (que corresponde a la distancia $\delta(x)e/2$ d).

$$(\rho u \phi)_e - (\rho u \phi)_w = \left(\Gamma \frac{\partial \phi_i}{\partial x_j} \right)_e - \left(\Gamma \frac{\partial \phi_i}{\partial x_j} \right)_w \quad (24)$$

$$\frac{1}{2}(\rho u)_e(\phi_E + \phi_P) - \frac{1}{2}(\rho u)_w(\phi_P + \phi_W) = \frac{\Gamma_e(\phi_E - \phi_P)}{(\partial x)_e} - \frac{\Gamma_w(\phi_P - \phi_W)}{(\partial x)_w} \quad (25)$$

Estas ecuaciones se pueden reordenar de modo que se obtiene una serie de ecuaciones algebraicas que se pueden solucionar con métodos numéricos. Se propone el uso del módulo CFC de EnergyPlus integrado en Design Builder como herramienta de trabajo, siendo válida cualquier otra que se quiera incorporar al laboratorio (Design Builder, 2012). Se pueden realizar simulaciones y cálculos CFD tanto a nivel interno como externo, pudiéndose así analizar el comportamiento de los edificios según su distribución exterior pero también la distribución interior de perfiles de temperatura, velocidad y presión.

La simulación CFD externa se utiliza para optimizar la distribución de los edificios en la ubicación de los edificios. Para alimentar el modelo se usan datos climáticos recogidos por estaciones meteorológicas situadas en la ubicación y posteriormente procesadas para dar lugar a ficheros climáticos de tipo TMY2. El modelo de análisis de turbulencia *1-k-e* es el aplicado en el código utilizado para la simulación realizada. Este modelo es uno de los del tipo RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes). En estos modelos la velocidad instantánea de las ecuaciones de Navier-Stokes se sustituyen por un valor medio que fluctúa. Este tipo de modelo sobrestima los fenómenos de difusión en el caso de flujos separados y no es exacto en el cálculo de chorros de fluido libre pero para el caso de cálculos en el entorno edificatorio su nivel de precisión y la adecuación a la realidad de los resultados es suficiente para el objetivo buscado. Los fenómenos descritos no se presentan en un uso habitual de edificación. El mallado realizado es uniforme excepto en las zonas de contacto con la envolvente del edificio para proporcionar así resultados más acordes a la realidad.

En el caso del análisis CFD interno este se utiliza para cuantificar el nivel de confort interior. El modelo de confort interior de Fanger es el evaluado por la herramienta utilizada (ASHRAE, 1984), (Fanger, 1970), (ASHRAE, 1985), (Du Bois and E.F, 1916), (Fanger, P.O., 1986). Este modelo fue publicado en 1967, modificado en 1972 y dio pie a la publicación de otros modelos como el de Pierce y el de Kansas State University (Berglund, 1978), (Fanger, 1967), (Gagge et al., 1970). El modelo descrito

por Fanger es el más utilizado debido a su facilidad de análisis en modo analítico pero también gráfico. Las variables ambientales influyen de modo determinante en el confort térmico, según se observa en la Tabla 55.

Tabla 55. Variables ambientales y parámetros fisiológicos influencia confort

VARIABLES AMBIENTALES	PARÁMETROS FISIOLÓGICOS
Temperatura del aire (T_a)	Temperatura de la piel (T_{piel})
Temperatura radiante media (T_r)	Temperatura interna (T_{in})
Velocidad relativa del aire (v)	Tasa de sudoración
Presión de vapor en el aire (P_a)	Humedad en la piel
	Conductividad térmica entre la piel y el interior del cuerpo

Con estos valores se puede calcular el los términos PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), ambos utilizados con sus términos anglosajones (ISO, 1983), (Doherty and Arens, 1988). Estos dos parámetros, se usan para medir el confort y según la norma ISO 7730 el valor del PPD no debería superar el 10%. Estos dos parámetros, estudiados por Fanger, permiten cuantificar el confort térmico y evaluar cuáles son los parámetros para un grupo de gente analizada y encuestada. La American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (ASHRAE, 1993) considera que no existe confort cuando la persona encuestada vota fuera de los tres puntos centrales de la escala de valoración (Fountain and Huizenga, 1997), (Cooper, 1998), (Myers, 2004), (Humphreys, 1975), (de Dear, 1998), (Auliciems, 1981). El sistema CFD calcula el valor del PMV que posteriormente se utiliza para calcular el PPD, todo según (26) y (27) (Baker and Standeven, 1996), (Humphreys, 1979), (de Dear and Brager, 2002), (Humphreys and Nicol, 1998), (Olesene, 2004), (Markov, 2006).

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \\
 & \cdot \{ (M - W) - 3.05E^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - P_w] \\
 & - 0.42[(M - W) - 5815] - 1.7E^{-5}(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - T_a) \\
 & - 3.96E^{-8} \cdot f_{cl}[(T_{cl} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] - f_{cl}h_c(T_{cl} - T_a) \} \quad (26)
 \end{aligned}$$

- M es la tasa metabólica (W/m^2)
- W es el trabajo externo (W/m^2) del área del cuerpo
- P_w es la presión parcial del agua (Pa)

- T_a es la temperatura del aire (°C)
- f_{cl} es un ratio de superficie con ropa frente a superficie sin ropa
- T_{cl} es la temperatura de la ropa (°C)
- T_r es la temperatura radiante media (°C)
- h_c es el coeficiente de transmisión de calor convectivo (W/m²K)

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (27)$$

Se deben además garantizar unos niveles mínimos de ventilación que aseguren una calidad del aire interior adecuada para los habitantes. La renovación del aire mediante la aportación de aire exterior es fundamental para garantizar estos niveles de salubridad. En el tipo de edificio estudiado no se pueden diseñar complejos sistemas de climatización y filtrado de aire sino que se establece un modelo de climatización mixto que integra el uso de ventilación natural para refrigeración y de equipos alimentados con energía eléctrica o térmica. En esta estrategia de funcionamiento los sistemas de climatización no pasivos se utilizan cuando con sistemas de ventilación natural no se alcanzan los niveles de confort requeridos. El flujo mínimo de aire en el refugio se calcula según (28) y (29).

$$\dot{Q}_v = \frac{\dot{Q}_{min} \cdot NP}{1000} \quad (28)$$

$$NP = OC \cdot AO \quad (29)$$

Siendo \dot{Q}_v la tasa de ventilación natural en (m³/s), \dot{Q}_{min} es el mínimo aire por persona en (m³/s), NP es el número de personas, OC es la densidad de ocupación (personas/m²) y AO es el área ocupada (m²). En un modelo tan simple como el propuesto las ventanas se utilizan como abertura para la ventilación natural y se propone además la utilización de una abertura adicional en el techo de la vivienda. El caudal de ventilación a través de cada abertura se calcula en el software (q) analizando la diferencia de presiones entre el interior y el exterior, siendo q el flujo volumétrico en la abertura, (m³/s), DP el diferencial de presión en la abertura (Pa), n es un exponente que varía entre 0,5 para flujos turbulentos desarrollados y 1 para flujos laminares y C

es un coeficiente de flujo relacionado con el tamaño de la abertura (m^3/sPa), (30) y (31). Los datos de presión se calculan a partir de los datos de velocidad del viento incluidos en el fichero climático TMY2.

$$q = C \cdot (DP)^n \quad (30)$$

$$P_w = 0,5 \cdot \rho \cdot C_p \cdot v_z^2 \quad (31)$$

P_w es la superficie expuesta al viento (Pa), ρ la densidad del aire (kg/m^3), C_p es el coeficiente de presión en la abertura y v_z es la velocidad media a una altura z (m^2/s).

Debido a que habitualmente no existe suministro eléctrico ni energético alguno en refugios de este tipo es necesario contar con sistemas de climatización asociados a un generador diesel. Se proponen en este caso dos tecnologías, una alimentada por energía eléctrica (sistema de expansión directa, DX) cuyo sistema de control sería la temperatura ambiente. El sistema de control que garantizara un adecuado confort debería medir la temperatura operativa pero esto no es realista en un refugio de estas condiciones. La energía consumida por un equipo de este tipo se podrá calcular según (32).

$$EC_{DX} = \frac{Q_{refrig}}{SEER \cdot \eta_{Gen} \cdot \eta_{aux}} \quad (32)$$

EC es la energía consumida en kWh), η_{Gen} es el rendimiento del generador eléctrico y η_{aux} es el rendimiento energético de los equipos auxiliares. El parámetro evaluado para el rendimiento del equipo de frío es el SEER o rendimiento estacional al ser el que mejor evalúa el comportamiento real del equipo a lo largo de un año de uso.

El otro tipo de tecnología estudiada es un sistema de climatización basado en el uso de energía solar térmica para alimentar una pequeña máquina de absorción. En este caso la tecnología propuesta está basada en un pequeño sistema de absorción cuya demanda térmica para ser alimentado puede evaluarse según (33), siendo el valor del COP el del sistema de absorción y η_{ter} el rendimiento térmico del sistema de almacenamiento y distribución de calor.

$$EC_{EST} = \frac{Q_{refrig}}{COP \cdot \eta_{ter}} \quad (33)$$

En el estudio realizado se compara la influencia de las tecnologías pasivas en el tamaño inicial de los sistemas, el coste y la capacidad de alcanzar los niveles de confort requeridos.

Debido a la necesidad de un sistema de bajo coste de construcción el edificio tiene un alto nivel de ocupación, similar al que se registra en edificios de este tipo. Por lo general en un refugio de unos 20 m² viven unas 15 personas. La característica térmica de las tiendas de campaña, que utilizan materias textiles, hace que se produzca un aumento de la temperatura hasta niveles no confortables. En el ejemplo que se lleva a cabo la temperatura interna en las tiendas de campaña se eleva a 36 °C y se alcanza un 80% HR. Estas condiciones además provocan la proliferación de enfermedades y disminuye la calidad de vida y la esperanza de vida. El objetivo de los hogares es proporcionar un refugio seguro para los desplazados internos y ser la base para un posible desarrollo futuro de una nueva ciudad. Se propone un método constructivo sencillo basado en materiales abundantes y que no requieran, para su construcción, de mano de obra altamente cualificada.

Los refugios se construyen sin tener en cuenta la posibilidad de utilizar técnicas pasivas de climatización que reducen el consumo de energía en las instalaciones climatizadas. En la Fig. 69 y en la Fig. 70 se muestran las características geométricas del edificio estudiado, correspondiente a un pequeño edificio para la estancia de niños.

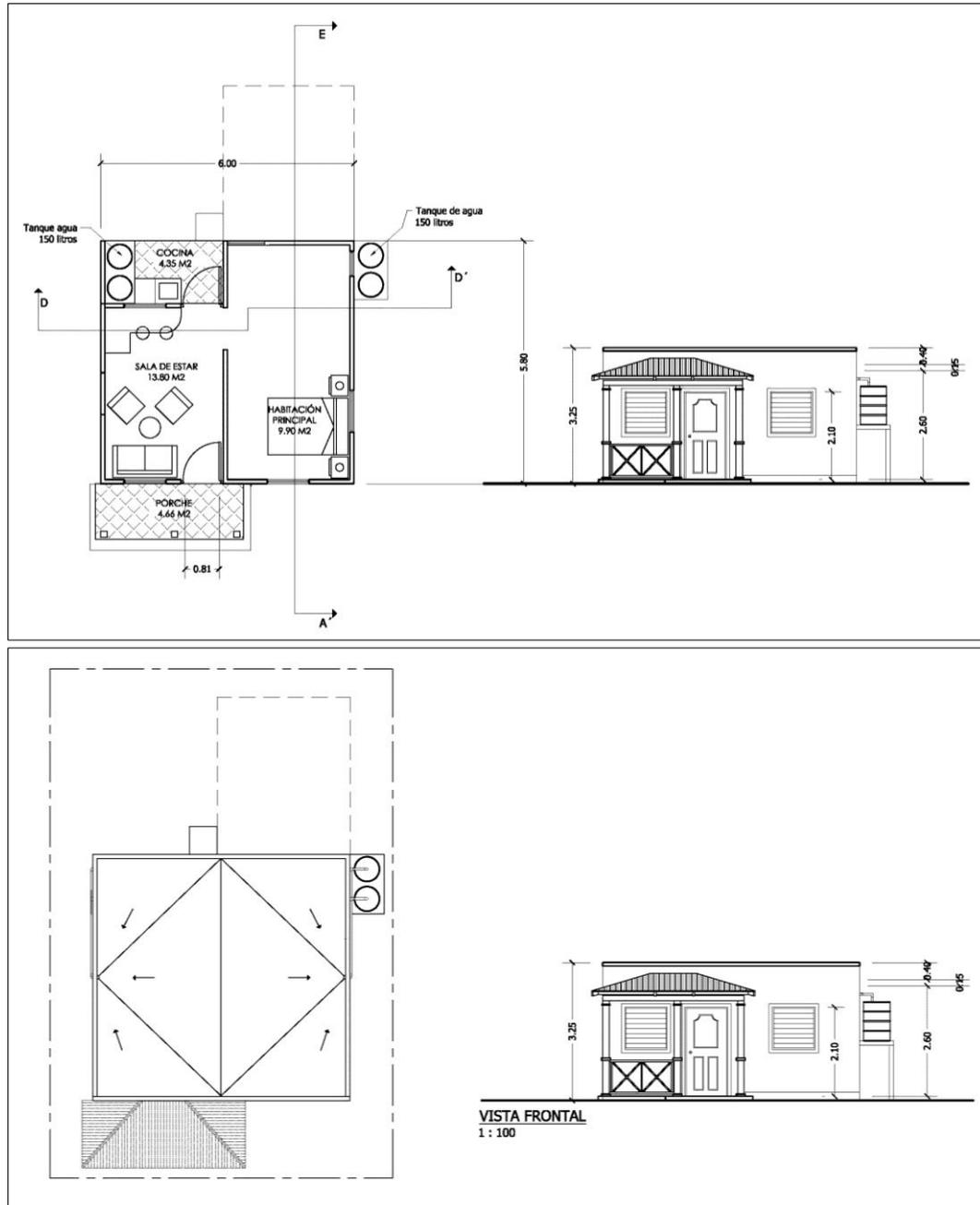


Fig. 69. Planta del edificio

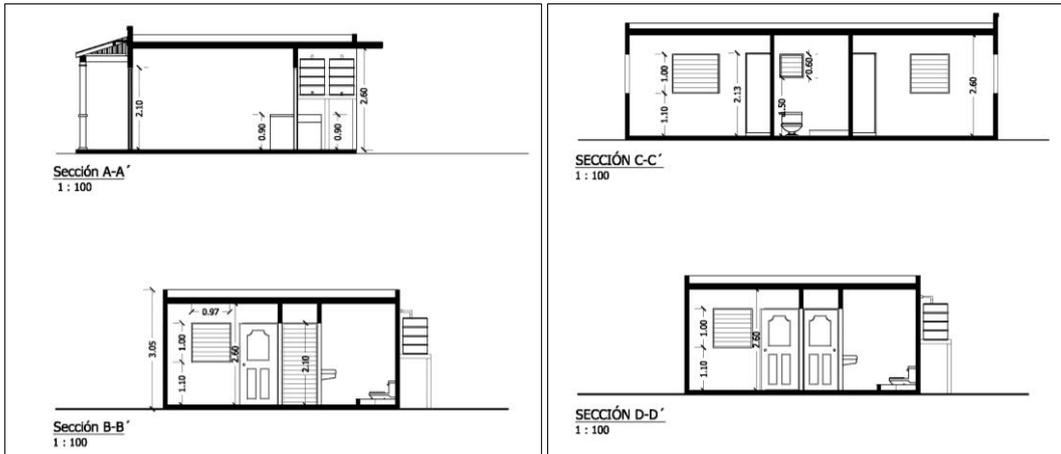


Fig. 70. Secciones del edificio

La densidad de ocupación a lo largo del día se muestra en la Fig. 71 y en la Tabla 56.

Tabla 56. Horarios de ocupación

Hora	Personas	Densidad (personas/m ²)
12:00 a 19:00	10	0,36
19:00 a 12:00	5	0,18



Fig. 71. Gráfico de ocupación

La estrategia de control de temperatura es priorizar el uso de la ventilación natural. Esta se considera en la simulación activada cuando la temperatura exterior es dos grados menor que en el interior. En caso de que no se alcance la consigna requerida se activa el sistema de climatización.

El uso de hormigón constituye una solución de bajo coste, alta velocidad de construcción y requiere una mano de obra muy poco cualificada. Se propone un refugio que utiliza, como materiales constructivos, los descritos en la Tabla 57.

Tabla 57. Características constructivas

Hormigón aligerado	
Conductividad [W/(mK)]	1,8
Peso específico [kg/m ³]	1.600
Calor específico [kJ/(kgK)]	0,75
Emisividad	0,9
Hormigón armado	
Conductividad [W/(mK)]	1,8
Peso específico [kg/m ³]	2.400
Calor específico [kJ/(kgK)]	0,278
Emisividad	0,93

Para los vidrios se opta por un vidrio simple de 4 mm con un coeficiente $U_{\text{vidrio}}=6$ (W/m²K) con un marco de aluminio con un valor $U_{\text{marco}}=5,7$ (W/m²K). Las puertas son de aluminio simple con un valor $U_{\text{puerta}}=2$ (W/m²K).

5.1.6.4. Uso de la tecnología cool-roof como sistema de minimización de demanda

La tecnología Cool Roof (CR) está continuamente ganando interés en los últimos años. Se relaciona, en muchos estudios, como una forma eficaz para mitigar los efectos negativos de las islas de calor urbanas (LBNL, 2011), (Santamouris, 2007). El hecho de que la temperatura en zonas urbanas aumente en comparación con zonas rurales de los alrededores ha sido documentado y estudiado. El interés es cada vez mayor debido al cambio climático y a que el número y la intensidad de los episodios de calor parecen tener una tendencia creciente (EPA, 2009), (Founda et al, 2004). En las zonas urbanas el uso CRs se presenta como una solución para reducir el consumo de energía (IPCC, 2007), (EPA, 2009), (Akbari et al., 1992). Las temperaturas urbanas mayores tienen el efecto de aumentar la demanda energética para climatización y la inversión inicial en equipos como consecuencia del aumento del potencia a instalar (Taha, 1997), (Hassid et al., 2000), (Santamouris, 2001), (Cartalis et al., 2001). Un sistema CR es un sistema de cubierta que se caracteriza por tener una alta reflectancia solar y emisividad alta (e). El SR tiene capacidad de reflejar la radiación solar lo que implica la reducción de transferencia de calor al edificio y al presentar valores altos de e se produce una liberación más rápida de calor absorbido en forma de radiación infrarroja (Bretz, 1997), (Siegel and Howell, 2002), (Konopacki and Akbari, 2001). La combinación de altos valores de estas dos propiedades resulta en la reducción de la

temperatura de la superficie del tejado en comparación con una superficie similar con una menor reflectividad y emisividad. Un gran número de estudios experimentales y modelados de sistemas que demuestran los beneficios de los CRs (Konopacki et al., 1997), (Akbari et al., 2009), (Akbari et al., 1997), (Rosenfeld et al., 1996), (Taha, 1997), (Taha, 2005) se reportan en la bibliografía. Todos estos estudios son sobre la reducción del consumo de energía, reducción de efecto isla de calor y reducción del costo de energía, pero el sistema no se propone como una forma de mejorar tanto el confort térmico como el coste de la inversión en edificios para cooperación al desarrollo (Synnefa et al., 2008), (ASTM, 2008), (ASTM, 2005), (ASTM, 1996), (Boixo, 2012).

Las ventajas de utilizar un CR se pueden resumir en:

- Reducción de la ganancia de calor: la temperatura de un CR por lo general aumenta sólo unos pocos grados Celsius por encima de la temperatura ambiente durante el día.
- Ahorro en gastos de aire acondicionado durante el verano entre un 10% y un 40%.
- Mejora de las condiciones de confort térmico en edificios no climatizados.
- Reducción de la demanda pico de electricidad como consecuencia de menor demanda de climatización.
- Aumento de la vida útil del techo por la reducción de gastos para el mantenimiento debido a una menor degradación por los rayos UV y menor fatiga térmica.
- Mitigación del efecto isla de calor en 1 °C o 2 °C.
- Reducción de la contaminación del aire y las emisiones de CO₂.

Todas estas referencias exponen las ventajas de la tecnología, pero no hacen referencia alguna a las ventajas derivadas de su uso en casos de cooperación al desarrollo. La tecnología de CR es bien conocida y aplicada en los EE.UU. donde hay normas de medición de efectividad de CRs y su uso es una parte del código de energía en muchos estados. En otros países, especialmente en regiones de Europa, hoy en día no se utiliza la tecnología como un estándar. Los EE.UU. y la UE son los principales actores en la cooperación al desarrollo (Synnefa et al., 2008), (Boixo, 2012). La UE apoyó un proyecto llamado CoolRoofs y ha desarrollado e implementado un

Plan de Acción para la promoción de la CRs en los países europeos. Todo ese conocimiento podría ser transferido a la construcción de las tecnologías en la cooperación al desarrollo como una práctica habitual y es necesario proporcionar herramientas de formación y difusión de la tecnología como la propuesta en este laboratorio. El posterior uso de instalaciones reales para su monitorización permitiría detectar áreas y oportunidades de mejora y continuar formando expertos en la materia.

5.1.6.5. Resultados derivados del uso de técnicas pasivas

El objetivo de las tecnologías pasivas planteadas es reducir el consumo de energía en la vivienda y la inversión inicial. Utilizar técnicas pasivas implica la reducción de la carga máxima de refrigeración, lo que reduce el equipo de tamaño y el consiguiente coste inicial. Con el fin de reducir la demanda de refrigeración se ha propuesto una solución de bajo costo y fácil de construir. Se plantea el uso de poliestireno expandido (EPS) en el techo, la colocación de una abertura en el techo para la mejora de la ventilación natural debido al efecto chimenea y el uso de CR. Las principales características de los materiales empleados y de la constitución de los cerramientos se presentan en la Tabla 58.

Tabla 58. Materiales utilizados

Materiales de cubierta				
EPS en cubierta (EPS cubierta)				
	Capa	Espesor	Conductividad	Conductancia térmica
Descripción	Número	mm	W/mK	(W/m ²)/K
Coefficiente de película exterior				56,700
Hormigón aligerado (1.600 kg/m ³)	1	60,0	0,750	12,500
EPS	2	84,0	0,029	0,341
Hormigón aligerado (1600 kg/m ³)	3	60,0	0,750	12,500
Coefficiente de película interior				9,300
U-Conductividad nominal				0,311
Caso Base (CB cubierta)				
	Capa	Espesor	Conductividad	Conductancia térmica
Descripción	Número	mm	W/mK	(W/m ²)/K
Coefficiente de película exterior				56,700
Hormigón aligerado (1.600 kg/m ³)	1	60,0	0,750	12,500
EPS	2	0,0	0,029	0.000
Hormigón aligerado (1.600 kg/m ³)	3	60,0	0,750	12,500
Coefficiente de película interior				9,300
U-Conductividad nominal				3,508
Muros hormigón (MH)				
	Capa	Espesor	Conductividad	Conductancia térmica
Descripción	Número	mm	W/mK	(W/m ²)/K
Coefficiente de película exterior				33,40
Hormigón reforzado (2.400 kg/m ³)	1	100	2,300	0,043
Coefficiente de película interior				8,300
U-Conductividad nominal				0,193

La ubicación del edificio puede mejorar las condiciones climáticas en los edificios sin costo alguno, reducir el efecto isla de calor y aumentar el confort térmico. Se ha realizado en este caso un análisis de la variación de los parámetros al cambiar la distribución de los edificios, utilizando para ello dos casos de estudio. En el primero se utiliza una disposición regular prevista, que se muestra en la Fig. 72 y segundo caso, con una distribución no simétrica a lo largo de los lotes para construcción, Fig. 73.



Fig. 72. Distribución de los lotes de edificios



Fig. 73. Distribución no uniforme

Los resultados de la simulación CFD se muestran en la Fig. 75 y en la Fig. 75 para distribución uniforme y no uniforme.

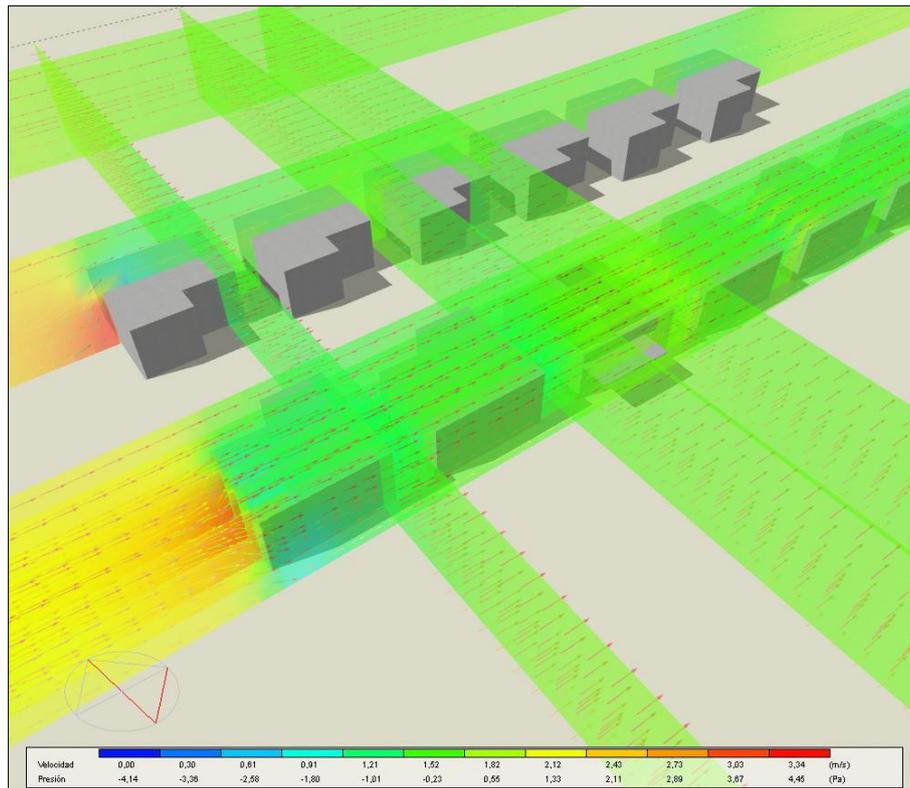


Fig. 74. CFD distribución uniforme

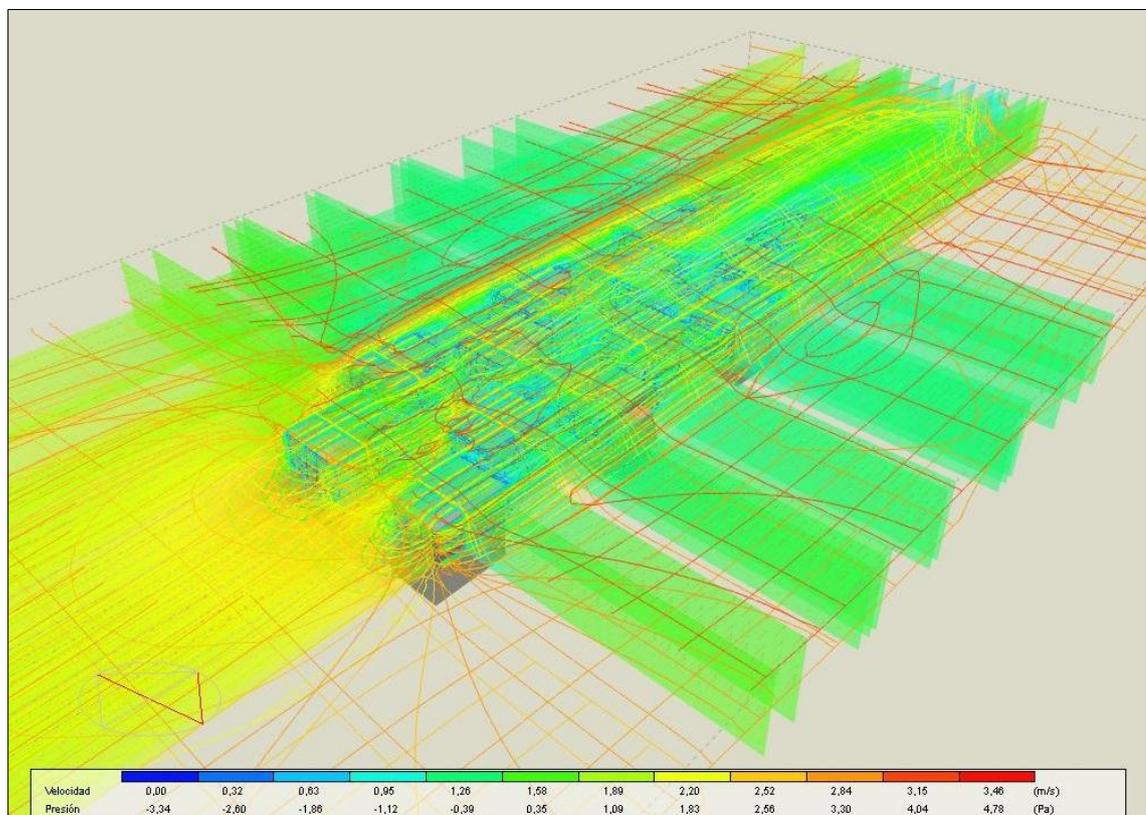


Fig. 75. CFD distribución no uniforme

El uso de una distribución no simétrica e irregular mejora la distribución de temperaturas y disminuye la temperatura media, tal y como se muestra las leyendas de velocidad del viento y de presión. Los valores de la velocidad se incrementan hasta un 25% de los refugios intermedios y más del 57% en los edificios situados en el extremo de la parcela. El aumento de la velocidad implica un mejor rendimiento en la ventilación natural y la consiguiente reducción del consumo de energía en los sistemas de refrigeración. De acuerdo con la (30 y la (31 la capacidad de ventilación por medio de la infiltración de aire externo es mayor cuando la diferencia de presión se incrementa y cuando aumenta la velocidad del viento.

De acuerdo con la estrategia expuesta se forman 8 casos de simulación que se modelan y simulan para distribución regular e irregular. Para cada uno de los casos de dos sub-casos son estudiados, el primero con un sistema de climatización de expansión directa y un segundo que utiliza el sistema de absorción alimentado con energía solar térmica. Los principales parámetros para los casos de expansión directa se muestran en la Tabla 59 y en la Tabla 60 para el caso de absorción.

Tabla 59. Casos para expansión directa

Caso	Ventilación y climatización	Cubierta
1DX	Ventanas y DX	CB
2DX	Ventanas, abertura en cubierta y DX	CB+Abertura
3DX	Ventanas y DX	CB+CR
4DX	Ventanas, abertura en cubierta y DX	CB+CR+Abertura
5DX	Ventanas y DX	CB+EPS
6DX	Ventanas, abertura en cubierta y DX	CB+EPS+Abertura
7DX	Ventanas y DX	CB+EPS+CR
8DX	Ventanas, abertura en cubierta y DX	CB+EPS+CR+Abertura

Tabla 60. Casos para absorción

Caso	Ventilación y climatización	Cubierta
1DX	Ventanas y sistema de absorción con energía solar térmica	CB
2DX	Ventanas, abertura en cubierta y sistema de absorción con energía	CB+Abertura
3DX	Ventanas y sistema de absorción con energía solar térmica	CB+CR
4DX	Ventanas, abertura en cubierta y sistema de absorción con energía	CB+CR+Abertura
5DX	Ventanas y sistema de absorción con energía solar térmica	CB+EPS
6DX	Ventanas, abertura en cubierta y sistema de absorción con energía	CB+EPS+Abertura
7DX	Ventanas y sistema de absorción con energía solar térmica	CB+EPS+CR
8DX	Ventanas, abertura en cubierta y sistema de absorción con energía	CB+EPS+CR+Abertura

Debido a la necesidad de utilizar un sistema de bajo coste y fácil de construir se busca una solución de CR mediante un aditivo de pintura. El aditivo de pintura permite reducir tanto la conductividad de la pintura original y aumentar la

reflectividad. La pintura acrílica con aditivo tiene un valor de reflectividad de 0,9235 y la conductividad térmica es de 0,1292 W/mK según la norma EN 12667, Tabla 61. En el caso de un sistema con máquina de absorción se utiliza un sistema de fan-coils como distribución interior.

Tabla 61. Efecto del aditivo para cool roof

Pintura para cool roof	
Reflectividad	0,9235
Conductividad térmica pintura acrílica (W/mK)	0,5
Conductividad térmica pintura acrílica con aditivo (W/mK)	0,1292

- Resultado de demanda para el día de diseño

La potencia instalada en los sistemas de refrigeración por expansión directa y en el sistema de absorción alimentado con energía solar térmica ha de ser capaces de suplir la demanda del día más desfavorable del año. Los resultados se muestran en la Tabla 62.

Tabla 62. Resultados día de diseño

	Caso 1 Regular												
	Ventanas	Muros	Solera	Muros interiores	Cubierta	Puertas y ventanas	Calor sensible	Infiltraciones exteriores	Ventilación exterior	Refrigeración total	Ocupación	Ganancias solares en ventanas	Calor sensible
Demanda específica	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²					
	-0,0059	-0,0381	-0,0195	-0,0090	-0,0215	-0,0018	-0,1115	-0,0043	-0,0206	-0,1920	0,0267	0,0116	-0,1077
Potencia neta pico de refrigeración	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
	-0,1537	-0,9861	-0,5061	-0,2333	-0,5557	-0,0459	-2,8885	-0,1104	-0,5323	-4,9721	0,6916	0,3009	-2,7903

Tabla 62. Resultados día de diseño (continuación)

Caso 4 Regular													
	Ventanas	Muros	Solera	Muros interiores	Cubierta	Puertas y ventanas	Calor sensible	Infiltraciones exteriores	Ventilación exterior	Refrigeración total	Ocupación	Ganancias solares en ventanas	Calor sensible
Demanda específica	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²					
	-0,0045	-0,0086	-0,0288	-0,0111	-0,0050	-0,0028	-0,0522	-0,0038	-0,0183	-0,1131	0,0265	0,0116	-0,0499
Potencia neta pico de refrigeración	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
	-0,1165	-0,2223	-0,7465	-0,2869	-0,1292	-0,0718	-1,3530	-0,0982	-0,4732	-2,9291	0,6873	0,3009	-1,2934
Δ	0,0372	0,7637	0,2405	0,0536	0,4265	0,0259	1,5355	0,0123	0,0591	2,0429	0,0043	0,0000	1,4969
Δ % Caso 1- Caso 4 Regular	24%	77%	48%	23%	77%	57%	53%	11%	11%	41%	0%	0%	54%
Caso 4 no regular													
	Ventanas	Muros	Basamenta	Muros interiores	Cubierta	Puertas y ventanas	Calor sensible	Infiltraciones exteriores	Ventilación exterior	Refrigeración total	Ocupación	Ganancias solares en ventanas	Calor sensible
Demanda específica	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²	kW/m ²					
	-0,0045	-0,0086	-0,0288	-0,0111	-0,0050	-0,0028	-0,0428	-0,0031	-0,0150	-0,0927	0,0218	0,0095	-0,0409
Potencia neta pico de refrigeración	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
	-0,1165	-0,2223	-0,7465	-0,2869	-0,1292	-0,0718	-1,1094	-0,0805	-0,3880	-2,4019	0,5636	0,2467	-1,0606
Δ	0,0372	0,7637	0,2405	0,0536	0,4265	0,0259	1,7790	0,0299	0,1443	2,5702	0,1280	0,0542	1,7297
Δ % Caso 1 Regular- Caso 4 No Regular	24%	77%	48%	23%	77%	57%	62%	27%	27%	52%	19%	18%	62%

La demanda de refrigeración en la vivienda se reduce hasta un 41% mediante el uso de la tecnología CR y añadiendo una abertura en el techo para mejorar la ventilación natural. Si se comparan los resultados para el caso de distribución regular y no regular se obtiene una reducción del 52%. Una disminución del 11% se obtiene sin coste alguno lo que demuestra la necesidad de estudiar y optimizar la distribución en planta de los refugios en el lugar. La Fig. 76 muestra los resultados para el día de

diseño para la distribución regular y la Fig. 77 los resultados para la distribución no regular.

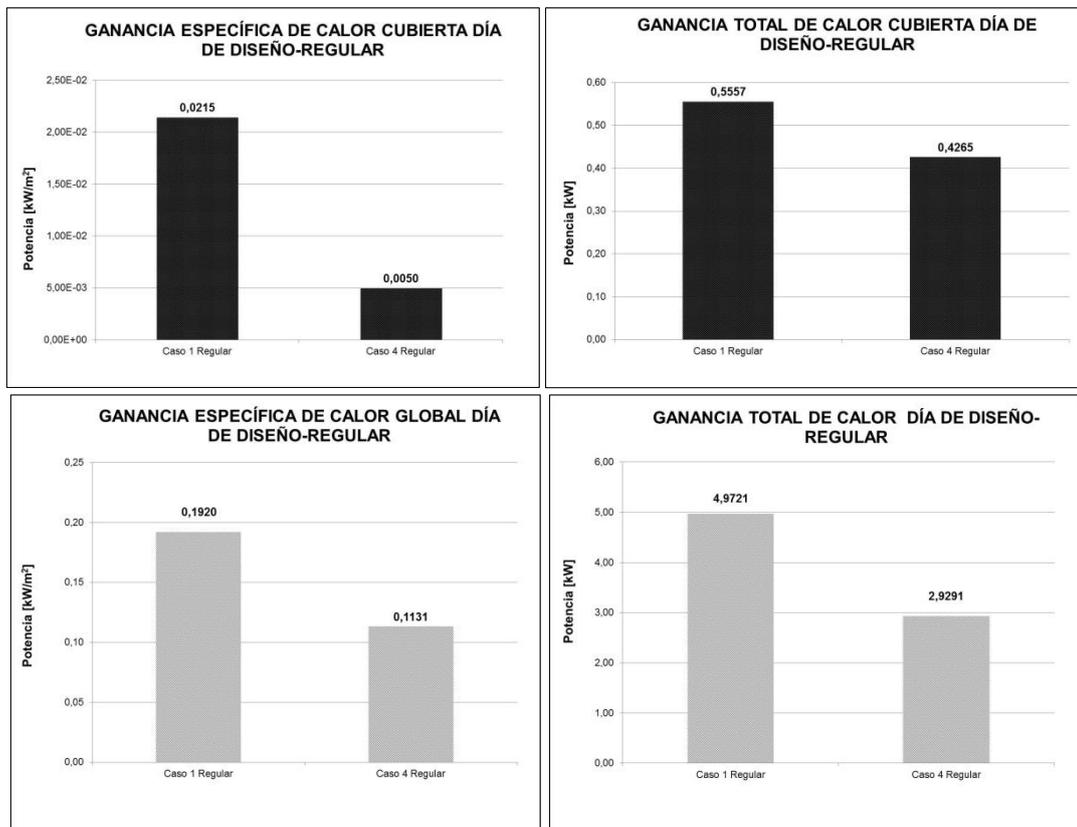


Fig. 76. Resultados para la distribución uniforme

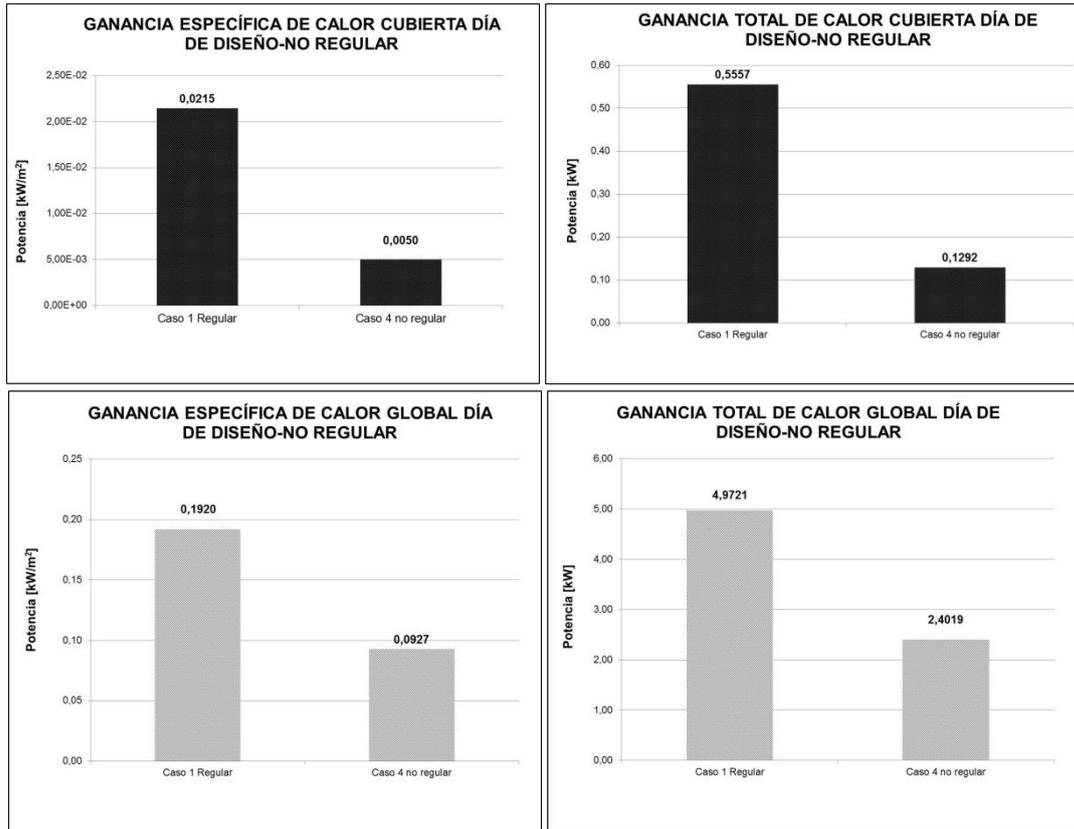


Fig. 77. Resultados para la distribución irregular

La demanda baja desde un valor de 4,9 kW en el caso base hasta un valor de 2,40 kW en el caso 4 utilizando una distribución irregular. Esto implica una reducción en la inversión inicial como consecuencia de un requerimiento menor de potencia tanto en el caso de un sistema de DX como de absorción. Este aspecto es extremadamente importante en el caso del sistema de absorción ya que el coste aumenta de forma importante por la necesidad de colocar más colectores solares térmicos.

- Resultados horarios

El sistema de cálculo permite hacer una simulación horaria para comprobar cuál es el comportamiento a lo largo de todo el año. Los resultados principales se muestran en la Tabla 63.

Tabla 63. Resultados horarios

Mes	Caso 1			Caso 4		
	Demanda de frío específica total kWh/m ²	Demanda de frío total kWh	Necesidad de energía solar térmica kWh	Demanda de frío específica total kWh/m ²	Demanda de frío total kWh	Necesidad de energía solar térmica kWh
1	-82	-2.125	3.572	-50	-1.305	2.194
2	-69	-1.794	3.016	-40	-1.042	1.751
3	-84	-2.168	3.645	-49	-1.281	2.153
4	-89	-2.305	3.875	-54	-1.403	2.358
5	-113	-2.932	4.927	-75	-1.935	3.252
6	-121	-3.141	5.279	-84	-2.173	3.651
7	-133	-3.433	5.769	-92	-2.386	4.011
8	-131	-3.395	5.706	-91	-2.352	3.953
9	-121	-3.139	5.276	-82	-2.128	3.576
10	-120	-3.117	5.239	-83	-2.148	3.610
11	-111	-2.883	4.845	-75	-1.949	3.276
12	-97	-2.506	4.212	-63	-1.621	2.725
Total	-1.272	-32.940	55.361	-839	-21.723	36.509
			Δ	433	11.216	18.851
			Δ% Caso 1- Caso 4			34,05%

La demanda de agua caliente para el sistema de absorción es un 34,05% menor entre el caso 1 y el caso 4 con distribución no regular, lo que disminuye de forma muy importante la inversión inicial en colectores y en el tanque de acumulación. En la Tabla 64 se muestran los resultados y la producción térmica, tanto para los casos de estudio y las superficies necesarias y la capacidad de los tanques de almacenamiento para ambos casos. Para los requerimientos del día de diseño y para suplir la demanda anual se logra disminuir la inversión inicial un 50%. El coste del aditivo acrílico para el CR es de aproximadamente de 30 €/m² lo que es un costo insignificante en comparación con el aumento en el coste tanto para el caso de DX como para el de absorción alimentado con energía solar térmica. En el sistema accionado por energía solar el coste específico es de aproximadamente 1.050 €/m² colector lo que hace que la opción de minorar la demanda sea muy rentable.

Tabla 64. Disminución de necesidades de sistema solar

	Caso 1	Caso 2	Δ Caso 1-Caso 4
Número de colectores	12	8	50,00%
Área colector solar (m ²)	51	34	
Volumen tanque (m ³)	3858,3	2572,2	

En la Fig. 78 y en la Fig. 79 se muestran los requisitos totales de refrigeración para el año.

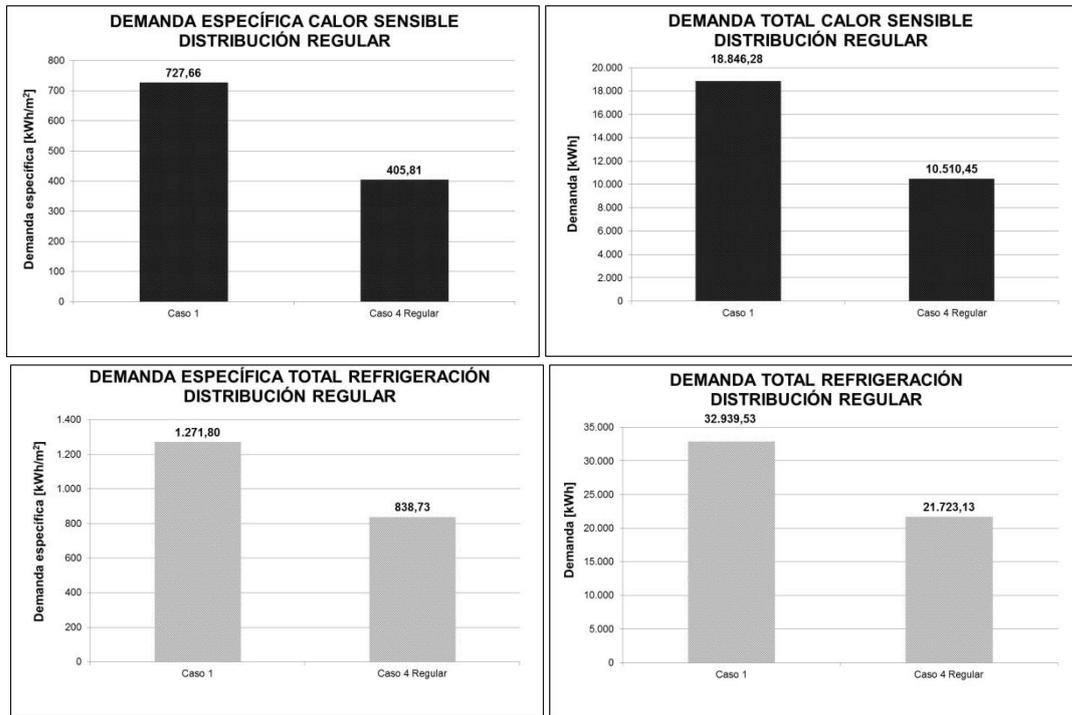


Fig. 78. Demandas anuales para la distribución uniforme

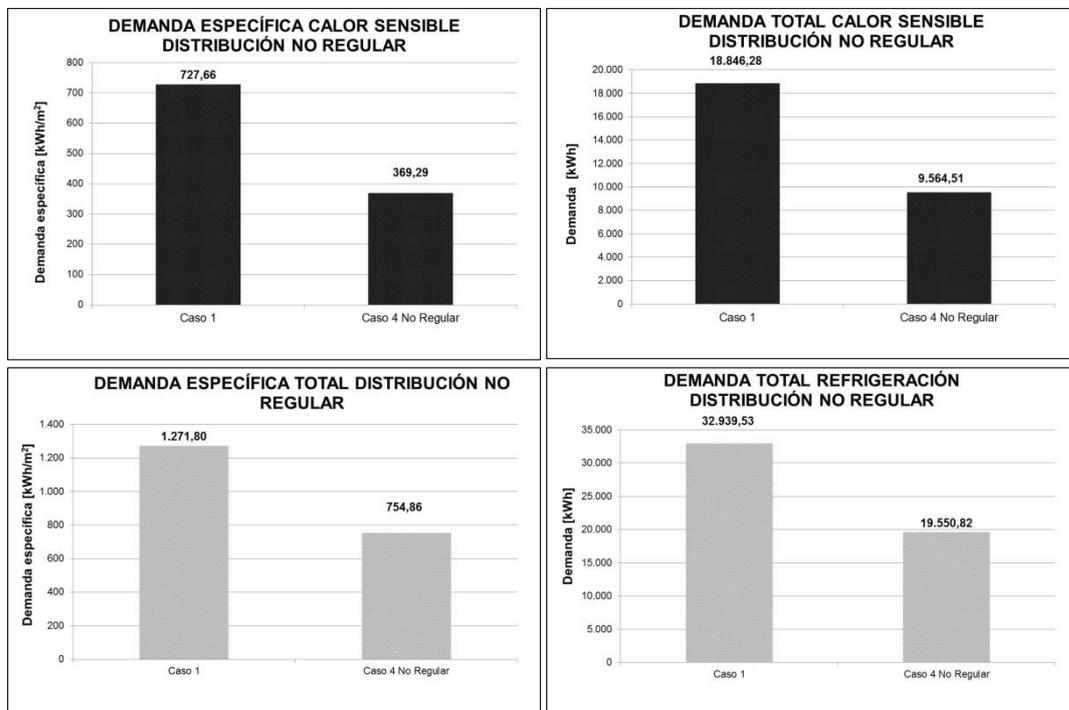


Fig. 79. Demandas anuales para la distribución uniforme

La demanda anual se reduce un 41% para el caso 4 frente al caso base con distribución regular. Esto implica la consiguiente reducción en el consumo de energía tanto para el caso de alimentación térmica como eléctrica. En la Fig. 80 se muestra la demanda a lo largo del año. La tecnología CR junto con una optimización de la distribución logra optimizar el confort y disminuir el consumo energético a lo largo del año.

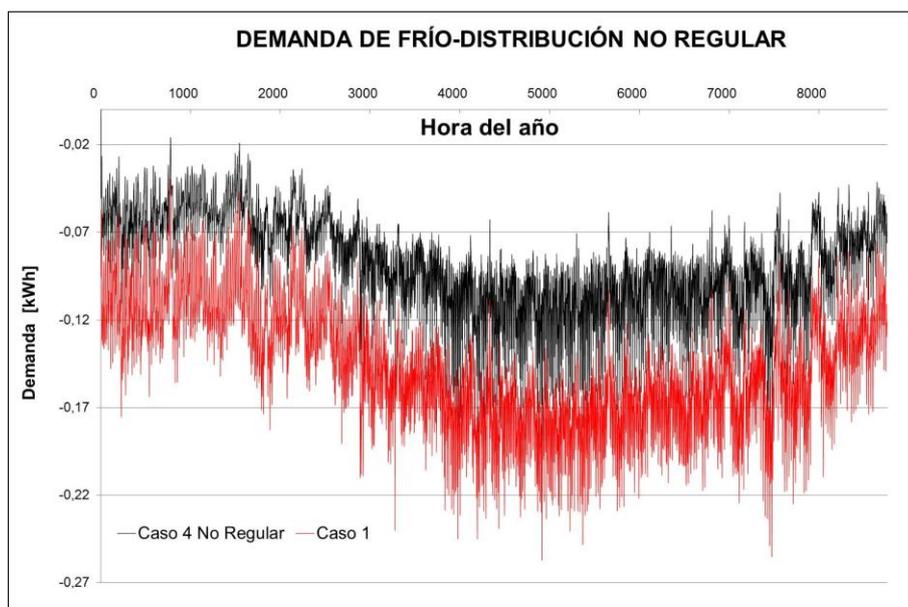


Fig. 80. Demandas de frío a lo largo del año

5.1.6.6. Conclusiones sobre el ensayo

Se ha demostrado que el uso de técnicas pasivas reduce la demanda energética del edificio lo que se traduce en menores costes de inversión, de operación y en unas mejores condiciones de confort para los habitantes. El contar con una plataforma de ensayos permite que se puedan formar profesionales con competencias en la materia, ofrecer difusión sobre el tema y abordar labores de investigación. La inclusión futura de instalaciones reales permitirá contar con datos reales y proponer, de este modo, acciones de mejora además de comprobar los resultados obtenidos con diferentes materiales, tecnologías y estrategias.

5.1.6.7. Desarrollo de un caso particular: refugio pasivo en Haití

Para validar la metodología y las herramientas de trabajo propuestas y demostrar su capacidad de generar soluciones reales en este ámbito y de poder ser utilizadas como referencia en la formación, se ha desarrollado un caso práctico para una ubicación determinada: Haití.

Los sistemas pasivos se han demostrado eficaces para reducir la demanda energética y por lo tanto la potencia requerida en los sistemas de climatización y el consumo de energía. Existen casos en los que debido a la magnitud y tipología de la catástrofe no es posible contar con ningún suministro energético en el campo de PDIs. Uno de estos casos es Haití, donde el 12 de enero 2010 un terremoto causó daños catastróficos en la zona de Port-au-Prince, que acentuó la debilidad endémica de las infraestructuras y de los edificios del país. Además de los problemas existentes el terremoto creó una serie de nuevos desafíos. El terremoto destruyó aproximadamente 105.000 viviendas y dañó seriamente más de 208.000, lo que agravó el déficit de vivienda que ya era importante y causó un daño estimado de 4,3 mil millones de € en daños a las infraestructuras públicas y privadas. La destrucción causó el desplazamiento de aproximadamente 2,3 millones de haitianos, de los cuales 1,3 millones siguen viviendo en tiendas de campaña o refugios provisionales. Los PDIs están dispersos por todo el país. Estos asentamientos de emergencia ofrecen condiciones inseguras de vida y perpetúan la decadencia social. La falta de opciones de vivienda disponibles para las personas que han perdido tanto su medio de vida como su hogar ha impedido el retorno de los desplazados a la vivienda sostenible. Los desplazados internos tienen que volver a tener una vivienda segura y duradera en sus comunidades o encontrar refugio sostenible en las nuevas áreas económicamente viables. Proporcionar refugio seguro para los desplazados es un reto difícil, costoso y debe plantearse como un desafío para los diseñadores de estos edificios. Tal y como se ha demostrado en anteriores apartados existen soluciones basadas en tecnologías pasivas de bajo coste que permiten mejorar las condiciones internas de confort en la vivienda sin uso de energía.

Se aplican en este caso las capacidades del entorno de simulación para optimizar el diseño de un refugio que situado en Haití se utilizará como prototipo de vivienda de rápida construcción y bajo coste. En estas viviendas no existirá suministro energético de ningún tipo, lo que implica que el uso de tecnologías pasivas es el único modo posible de lograr unas condiciones interiores aceptables.

El objetivo es diseñar un refugio de bajo coste con las mayores condiciones internas de confort térmico. La temperatura del aire y la humedad relativa tienen un impacto significativo en la percepción del confort térmico de los seres humanos. La HR por debajo del 30% puede causar piel seca, irritación de los ojos y/o problemas respiratorios. Por otro lado una HR por encima del 60% proporciona un ambiente propenso al crecimiento de ácaros, moho y causar reacciones alérgicas, además de resultar estresante a nivel térmico para las personas. Las actividades humanas,

incluyendo la propia respiración, supone la introducción de contaminantes en el interior de los edificios. Por ello es necesario evaluar la calidad del aire interior y mejorar la gestión de la ventilación para mejorar su calidad. La ASHRAE recomienda una tasa media de ventilación natural de 0,35 m³/hm² (tasa de cambio de aire) y una concentración de dióxido de carbono en interiores menor del 0,5%.

Para la vivienda tipo planteada en anteriores apartados, Tabla 57, y con la misma tipología estructural, Tabla 58, se ha realizado una simulación y un análisis de las condiciones de confort en la ubicación de Port-au-Prince. En este caso no existe ninguna posibilidad de incorporar un sistema de climatización, ya sea alimentado con energía solar térmica o con electricidad. Por ello los casos quedan reducidos a los planteados en la Tabla 65.

Tabla 65. Casos de estudio para refugio pasivo en Haití

CASO DE ESTUDIO				
Caso estudio	Nombre	Descripción	Muros	Cubierta
1	CASO BASE	Caso base, ventilación natural por ventanas	MH	Cubierta CB
2	CASO BASE CON ABERTURA	Caso base, ventilación natural por ventanas, abertura superior para ventilación pasiva.	MH	Cubierta CB+abertura cubierta
3	CASO BASE COOL ROOF	Caso base, ventilación natural por ventanas y cool roof	MH	Cubierta CB+CR
4	CASO BASE COOL ROOF-ABERTURA	Caso base, ventilación natural por ventanas, abertura superior para ventilación pasiva y cool roof	MH	Cubierta CB+CR+abertura cubierta
5	CASO EPS	EPS como aislamiento térmico, ventilación natural por ventanas como técnica pasiva	MH	Cubierta EPS
6	CASO EPS Y ABERTURA	EPS como aislamiento térmico, ventilación natural por ventanas	MH	Cubierta EPS+abertura cubierta
7	CASO EPS Y COOL ROOF	EPS como aislamiento térmico, ventilación natural por ventanas como técnica pasiva y cool roof	MH	Cubierta EPS+CR
8	CASO EPS CON COOL ROOF Y ABERTURA	EPS como aislamiento térmico, ventilación natural por ventanas, abertura superior para ventilación pasiva y cool roof	MH	Cubierta EPS+CR+abertura cubierta

Las condiciones climáticas y de radiación en la ubicación, Pour-au-Prince, se muestran en la Fig. 81 y en la Fig. 82.

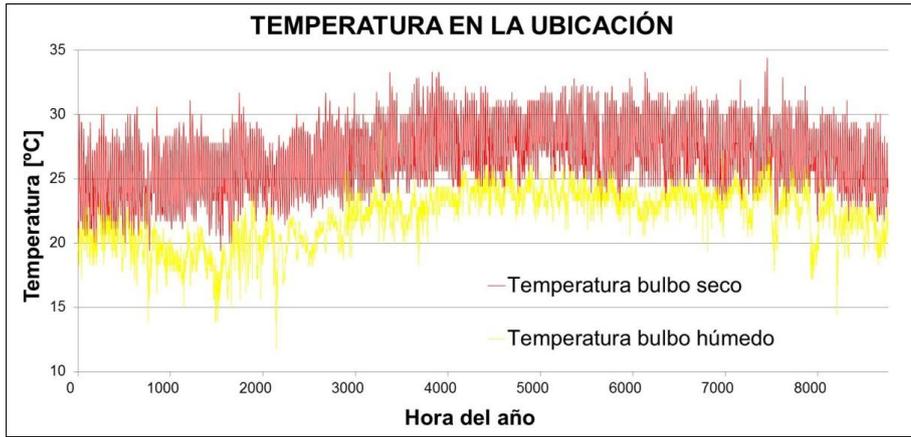


Fig. 81. Temperatura en la ubicación

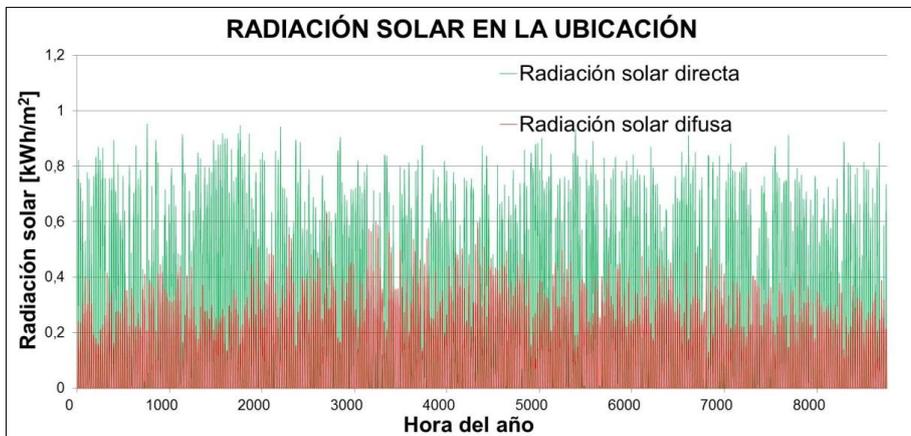


Fig. 82. Radiación solar en la ubicación

Utilizando la misma tecnología de CR de bajo coste mediante aditivo en la pintura se ha llevado a cabo la simulación para todos los casos. Los resultados principales se muestran en la Tabla 66.

Tabla 66. Principales resultados para los casos de estudio

CASO DE ESTUDIO	Resultados mensuales			Día de diseño refrigeración				Análisis económico						
	Temperatura del aire	Temperatura radiante media	Temperatura operativa	Humedad relativa	Temperatura del aire	Temperatura radiante media	Temperatura operativa	Tipo de construcción	Aumento costes unitarios	Unidades	Sistema de ventilación	Aumento de coste debido a ventilación	Aumento total	Aumento d coste específico
	°C	°C	°C	%	°C	°C	°C	Tipo	Δ€	m ²	Tipo	€	€	€/m ²
Caso 1	27,08	29,12	28,10	69,98	28,79	30,05	29,42	BC	0,00	28,00	Ventanas	- €	- €	- €
Caso 2	27,04	29,11	28,08	69,98	28,82	30,08	29,45	BC	0,00	28,00	Ventanas y abertura techo	147 €	147 €	5,2 €
Caso 3	26,71	27,11	26,91	77,99	26,35	26,42	26,38	BC+CR	37,00	28,00	Ventanas	- €	1.243 €	44 €
Caso 4	26,71	27,15	26,93	79,54	25,99	25,84	25,91	BC+CR	37,00	28,00	Ventanas y abertura techo	147 €	1.390 €	49 €
Caso 5	26,71	27,00	26,85	78,16	26,30	26,33	26,32	EPS	41,00	28,00	Ventanas	- €	1.377 €	49 €
Caso 6	26,71	27,05	26,88	77,84	26,39	26,44	26,41	EPS	41,00	28,00	Ventanas	147 €	1.525 €	54 €
Caso 7	26,69	26,90	26,80	78,74	26,14	26,06	26,10	EPS+CR	78,00	28,00	Ventanas	- €	2.620 €	93 €
Caso8	26,70	26,96	26,83	78,39	26,23	26,18	26,21	EPS+CR	78,00	28,00	Ventanas y abertura techo	147 €	2.768 €	98 €

El caso 4, basado en ventilación natural mejorada con abertura en cubierta y uso de CR presenta los mejores valores. Las ventajas de este caso frente a los demás se resumen en la Tabla 67.

Tabla 67. Resultados comparativos caso 4

	Humedad relativa	Temperatura del aire	Temperatura radiante media	Temperatura operativa
	%	°C	°C	°C
Valor máx	79,54	28,82	30,08	29,45
Caso para valor máximo	Caso 4	Caso 2	Caso 2	Caso 2
Valor mínimo	69,98	25,99	25,84	25,91
Caso para valor mínimo	Caso 1	Caso 4	Caso 4	Caso 4
Δ	9,55	2,83	4,25	3,54
%Δ MAX-MIN	14%	11%	16%	14%

Los resultados principales de los parámetros de confort interior se muestran, para el día de diseño, en la Fig. 83, Fig. 84 y en la Fig. 85.

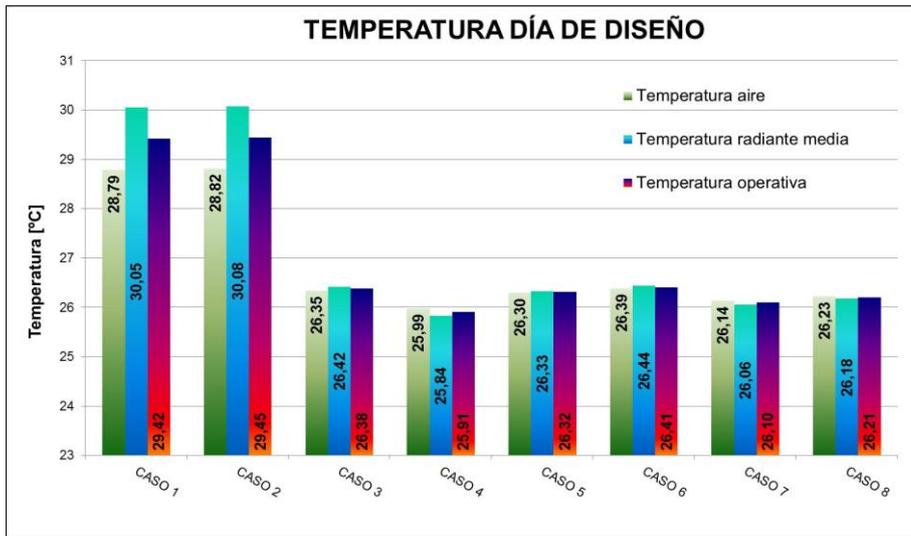


Fig. 83. Temperaturas días de diseño

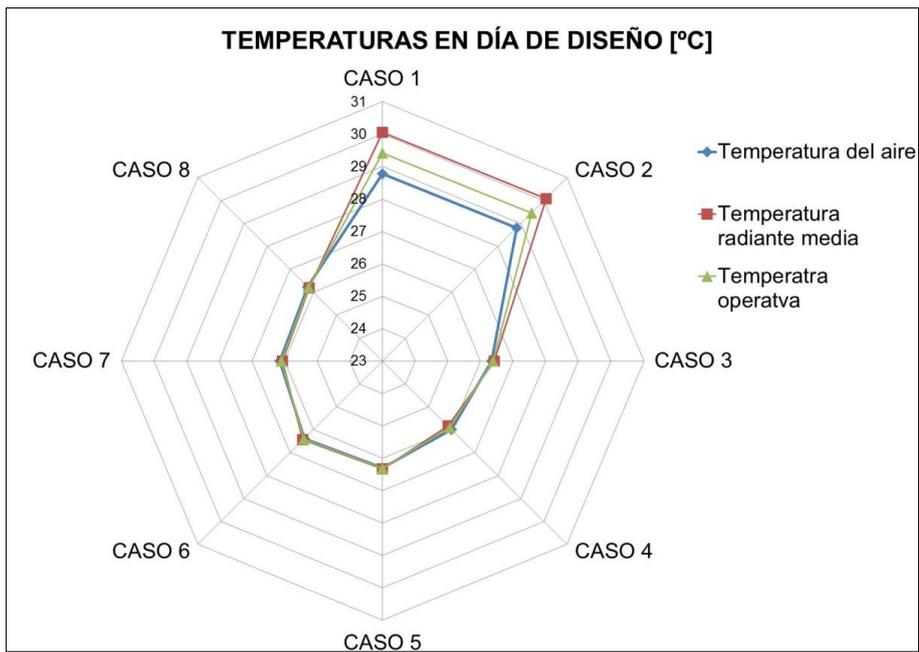


Fig. 84. Temperaturas día de diseño. Comparativa

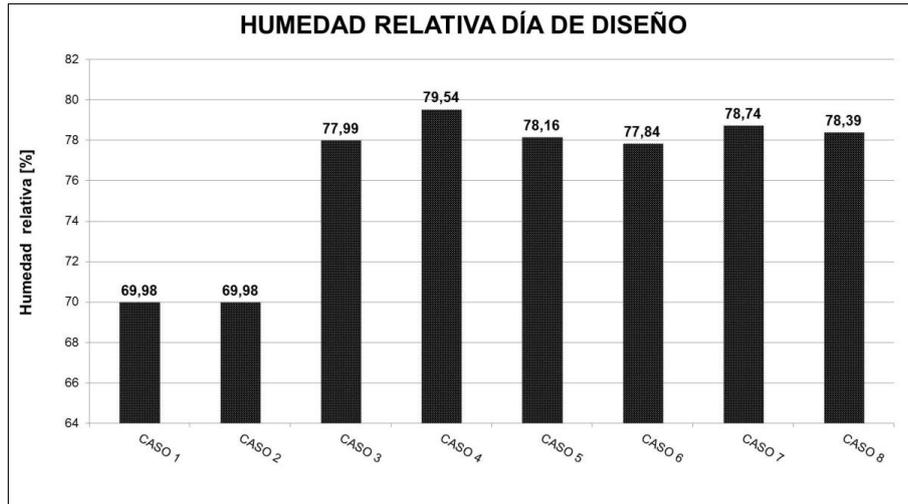


Fig. 85. Humedad Relativa día de diseño

Dado que se busca un diseño que maximice el confort y teniendo en cuenta que este se evalúa, según la metodología propuesta, mediante la temperatura operativa, se muestra en la Fig. 86 la evolución de esta a lo largo del día de diseño. Se observa que el comportamiento es bastante mejor en el caso 4, siendo la mejoría más amplia al final del día. Esto es debido a la menor acumulación de calor en la cubierta a lo largo del día.

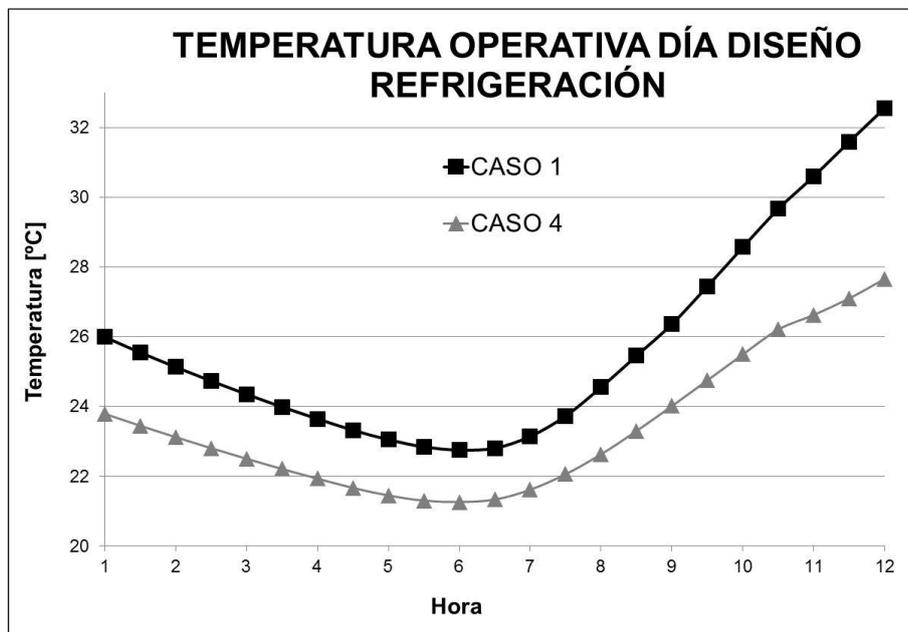


Fig. 86. Evolución temperatura operativa día de diseño

Los resultados de la simulación anual en base horaria se muestran en la Fig. 87 y los principales resultados, agrupados y clasificados en un periodo mensual, en la Fig. 88.

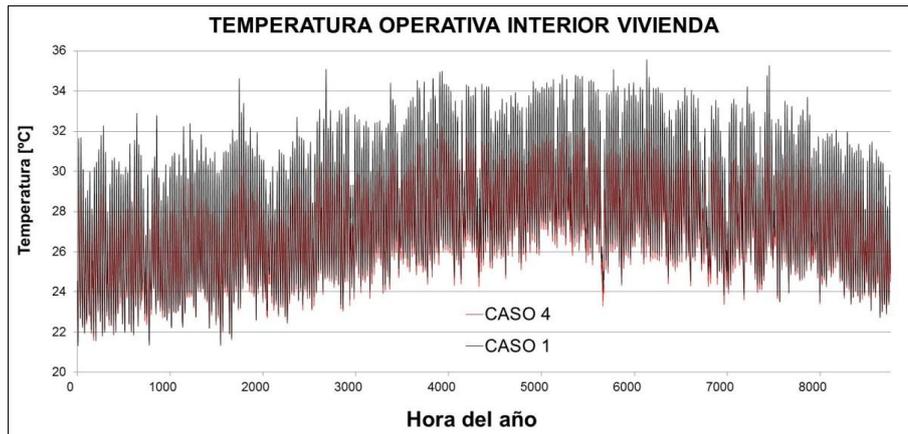


Fig. 87. Temperatura operativa. Resultados anuales

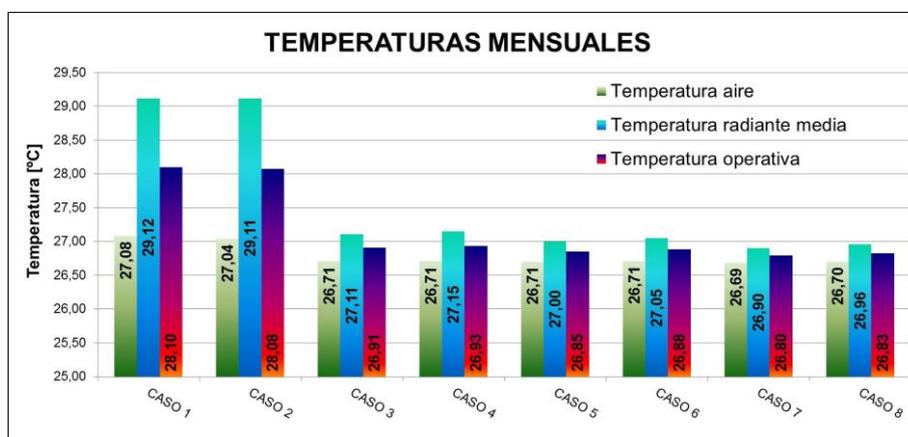


Fig. 88. Evolución temperaturas mensuales

Se obtienen comportamientos mejores para el caso del día de diseño pero también para todo el periodo anual, lo que demuestra la idoneidad de la solución.

Se demuestra con este ensayo que existe una capacidad real de mejorar las condiciones de confort en refugios para PDI en situaciones humanitarias complejas y desfavorables con una inversión muy baja. El modelo de ensayo propuesto permite que responsables de estos proyectos, personal en formación o cualquier otro actor en esta materia pueda mejorar su conocimiento en esta área y adquirir habilidades para proporcionar soluciones en casos similares al descrito.

5.2. EXPERIMENTOS EN EL ÁREA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SECTOR INDUSTRIAL

Se presentan en este apartado los experimentos correspondientes al área de la eficiencia energética en el sector industrial. Para cada uno de los experimentos propuestos se analiza la metodología y los resultados esperables del mismo.

5.2.1. Eficiencia energética en sistemas de bombeo

Los sistemas de bombeo son una de las instalaciones más comunes a nivel industrial pero también en entornos edificatorios, en el sector agrícola y en los servicios públicos. En este experimento se propone la realización de cálculos y simulaciones para la optimización energética de sistemas de bombeo. Los sistemas de bombeo con un control mediante velocidad variable permiten obtener importantes ahorros energéticos y económicos. En un funcionamiento sin sistema de regulación la única forma de acoplar la curva del sistema a la presión y caudal requeridos es mediante estrangulamiento de la válvula, realizando arranques y paradas o recirculando parte del caudal. Estas técnicas implican importantes pérdidas de rendimiento de la instalación y suponen un decremento en la eficiencia energética. El uso de sistemas de velocidad variable permite adecuar el funcionamiento de la bomba a los requisitos de presión y caudal mediante la modificación, por medio de un variador de frecuencia, de la velocidad de giro de la bomba. En la Tabla 68 se resumen las principales características de este experimento.

Tabla 68. Experimento sobre eficiencia energética en sistemas de bombeo

Destinatarios	Alumnos universitarios Profesionales en instalaciones con uso frecuente de sistemas de bombeo Público general en sesiones de formación y concienciación en la materia	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de contador telegestionado vía GRPS/GSM o sistema SCADA del sistema de bombeo
	Futurible	Sistema SCADA con comunicación con sistema PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de un conocimiento claro sobre qué mejoras aporta el uso de variadores de frecuencia en la explotación de sistemas de bombeo</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para la toma de decisión sobre la idoneidad del uso de un sistema de variación de frecuencia. Dotar al usuario de un método de cálculo de ahorros y de estrategia de operación óptima</p> <p><u>Concienciar</u> del elevado consumo energético que suponen los sistemas de bombeo y de la existencia de sistemas que permiten mejorar de forma notable la eficiencia del sistema</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Eficiencia Energética en sistemas de bombeo

Estudiantes universitarios y
profesionales en activo

Sector industrial

Hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

El usuario puede acceder a los consumos energéticos de un sistema de bombeo monitorizado y a partir de los mismos puede ensayar cuál sería el consumo energético del mismo sistema de bombeo operando bajo condiciones de funcionamiento a

paralelo implica además condicionantes adicionales en cuanto que es posible determinar la metodología de operación más adecuada: el funcionamiento de las bombas a velocidad síncrona (las dos a la misma velocidad) o

El usuario puede ensayar cuál sería el efecto de sistemas de variación de frecuencia en instalaciones de bombeo y cómo influye la estrategia de operación en el consumo energético.

velocidad variable. El usuario puede introducir la curva de la bomba o calcularla de forma experimental a partir de dos mediciones en diferentes puntos de funcionamiento. El uso de la tecnología permite obtener importantes ahorros energéticos además de alargar la vida útil de las instalaciones y reducir el número de averías y su coste económico asociado. El uso de sistemas de variación de frecuencia en bombas en

velocidad diferente (la primera a velocidad nominal y la segunda a menor velocidad). Estos cálculos se pueden realizar también en el ensayo propuesto de modo que se amplía la funcionalidad del experimento.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza los registros del SCADA de la instalación de bombeo. Estos registros incluyen valores energéticos y eléctricos de gran utilidad para poder realizar cálculos y ensayos sobre la modificación de los parámetros de eficiencia energética al utilizar sistemas de velocidad variable. El creciente número de sistemas de control con posibilidad de acceso remoto y telegestión facilitará la incorporación de nuevas instalaciones al laboratorio.

5.2.1.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento

El usuario del experimento tiene dos áreas diferenciadas de trabajo, en una primera puede analizar cuál es el efecto de la implementación de un sistema de velocidad variable en la instalación de bombeo estudiada y en una segunda parte puede estudiar y analizar cuál es el método de operación que proporcionaría mayores ahorros así como cuantificarlos.

A. Zona de cálculo de ahorros con velocidad variable

El usuario accede a los consumos energéticos de la instalación monitoreada y a partir de ellos puede optar por introducir los datos de la curva de las bombas de la instalación, calcularla de forma automática a partir de los datos de ensayos o introducir diferentes modelos para evaluar los niveles de eficiencia energética para cada uno de ellos. Esto aporta una capacidad docente muy elevada al ser de utilidad para un gran abanico de profesionales o de estudiantes. En la zona de introducción de datos, Fig. 89 , el usuario introduce los datos y posteriormente obtiene diferentes gráficas de consumo energético para los regímenes de giro propuestos así como el coste por unidad bombeada.

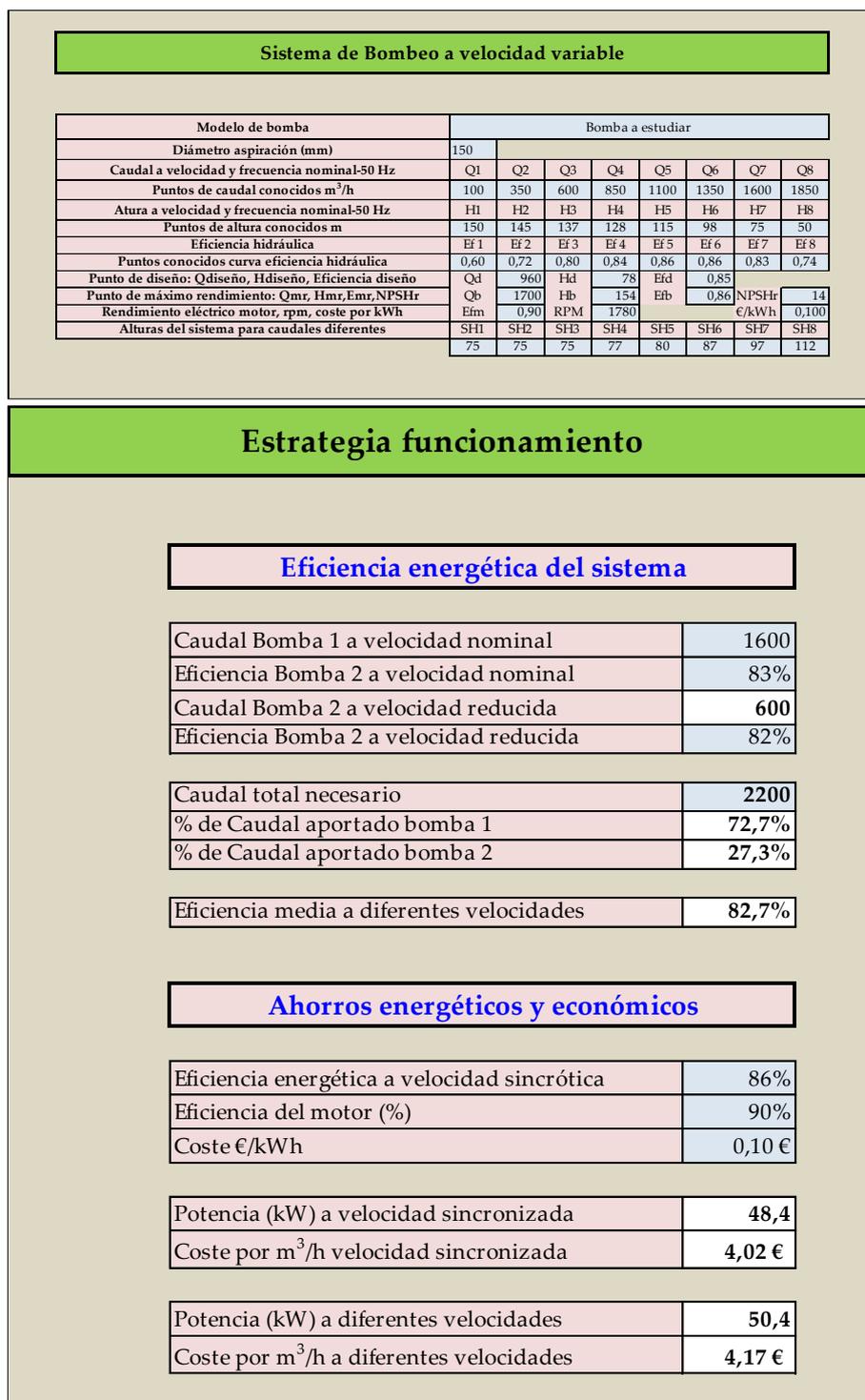


Fig. 89. Pantallas para introducción de datos y parámetros

B. Zona de optimización de operación

El usuario obtiene gráficos de altura de la bomba frente a caudal del sistema, Fig. 90, eficiencia del sistema de bombeo, Fig. 91, energía consumida por m³ bombeado, Fig. 92, y coste por cada 1000 m³ bombeado Fig. 93.

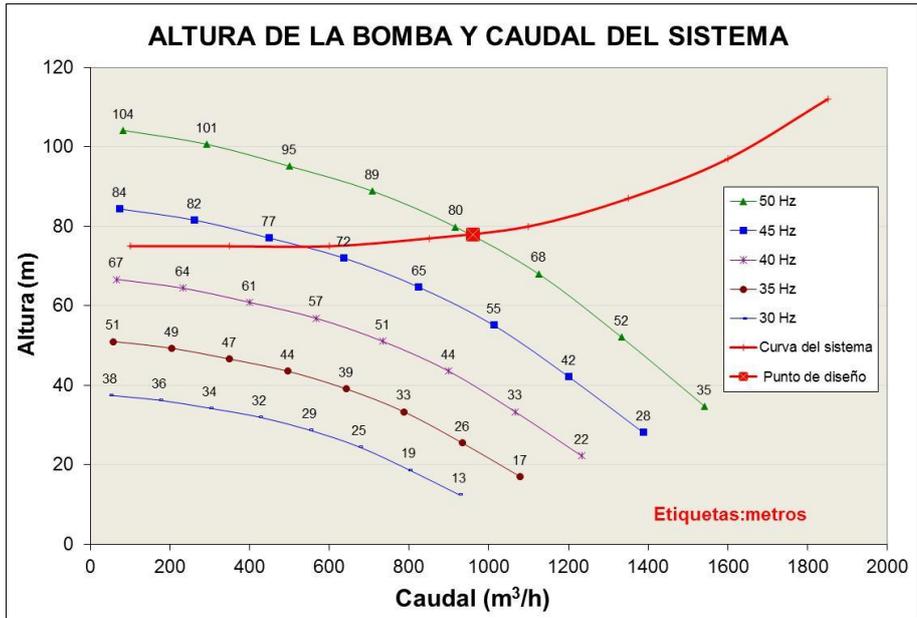


Fig. 90. Altura de la bomba y caudal del sistema

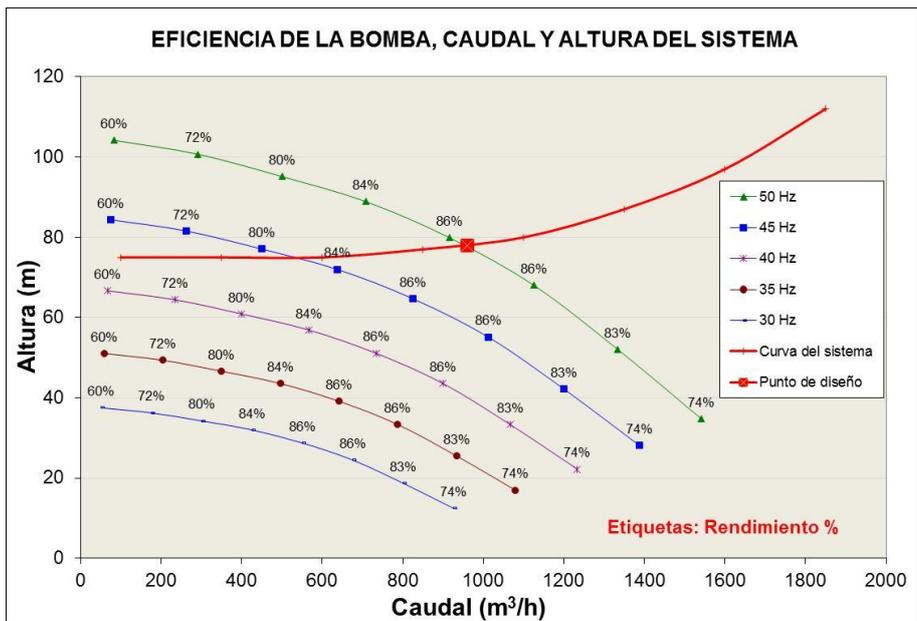


Fig. 91. Eficiencias de la bomba a velocidad variable

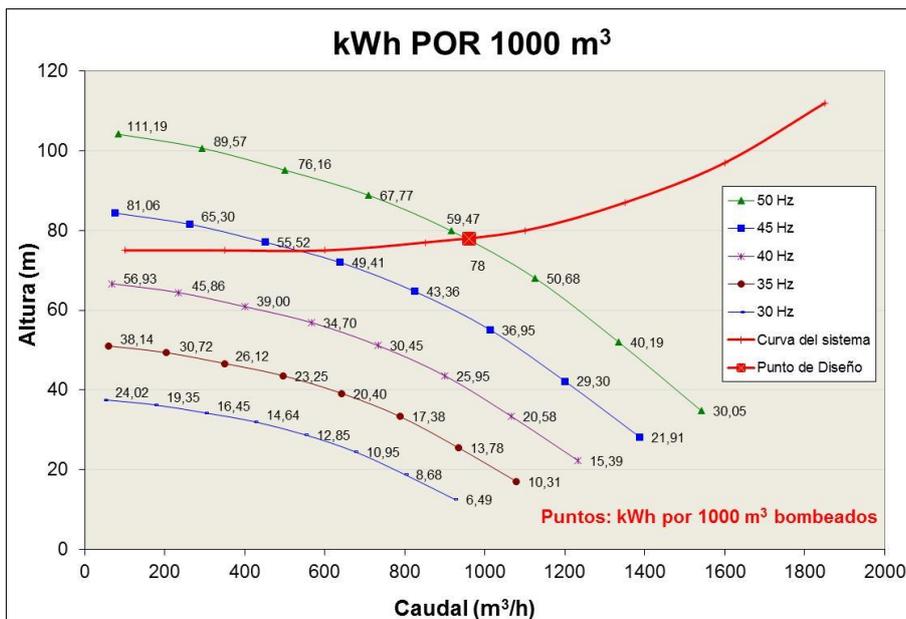


Fig. 92. Energía por cada 1000 m³ bombeados

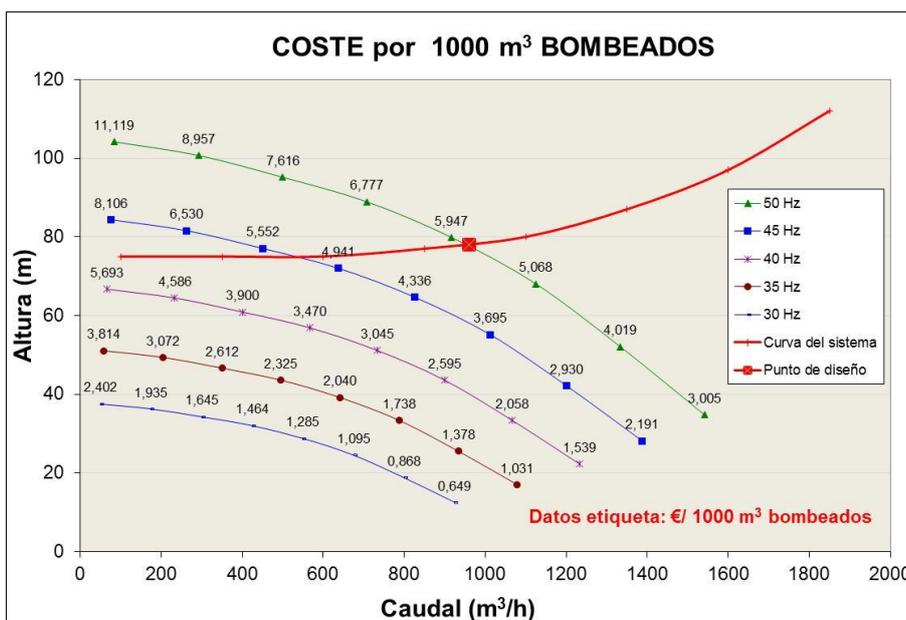


Fig. 93. Coste por cada 1000 m³ bombeados

Una vez que el usuario ha podido estudiar, analizar y obtener conclusiones sobre los ahorros energéticos derivados de la operación con velocidad variable se puede estudiar cuál es la estrategia de operación que maximiza el ahorro: operación de ambas bombas a la misma velocidad u operación de una bomba a máxima velocidad y la segunda bomba a la velocidad requerida.

En la Fig. 94 se muestran los resultados obtenidos para el funcionamiento de las dos bombas a diferente velocidad y se indica el caudal que bombea cada una de ellas.

En la Fig. 95 se muestra la opción de funcionamiento de las dos bombas a la misma velocidad.

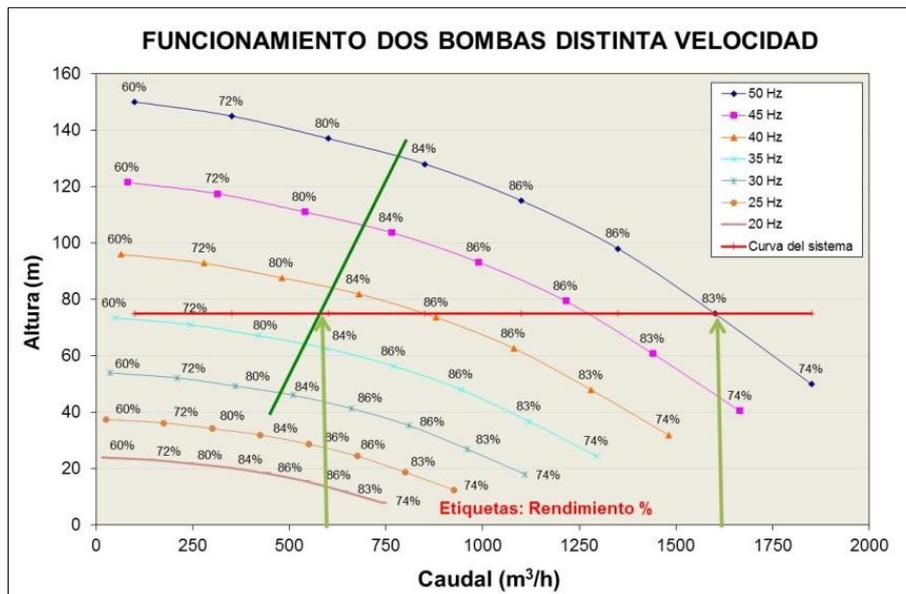


Fig. 94. Funcionamiento de las bombas a distinta velocidad

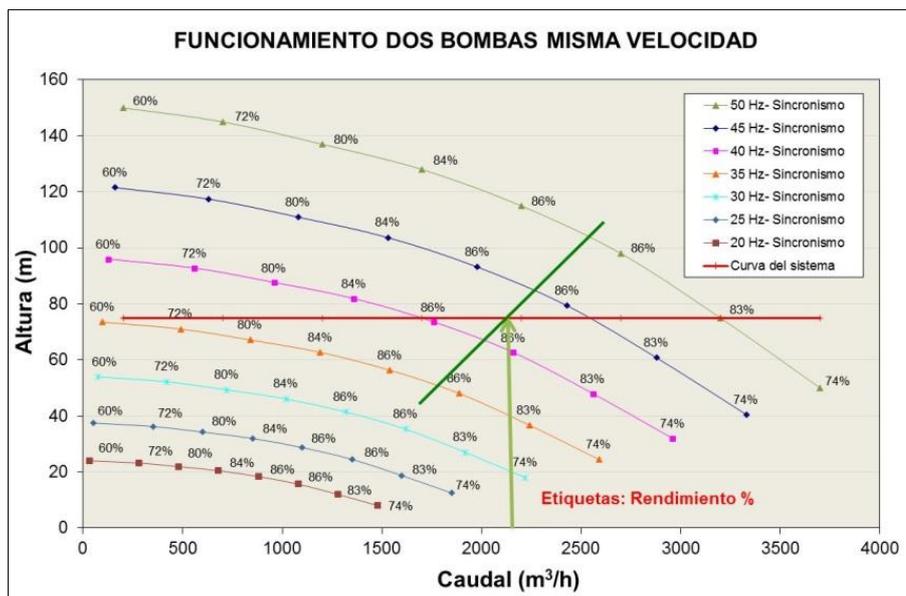


Fig. 95. Funcionamiento de las bombas a la misma velocidad

5.2.2. Mejora de la eficiencia energética en industrias mediante Energía Geotérmica de Baja Entalpía y financiación en modalidad ESE

En los primeros capítulos se ha estudiado y analizado la importancia de las ESEs para impulsar acciones de mejora de la eficiencia energética en todos los sectores y muy especialmente en el sector industrial y edificatorio. La energía geotérmica de baja

temperatura (EGBT) mediante bomba de calor geotérmica (BCG) permite obtener importantes ahorros en climatización en edificios. Esta tecnología está experimentando un gran crecimiento en los últimos años aunque su potencial en otros sectores diferentes al edificatorio está aún por explotar. La instalación de esta tecnología mediante el apoyo de ESEs puede ser una de las formas de facilitar su despegue y también el de las propias ESEs. En este experimento se propone una plataforma para el cálculo de ahorros energéticos derivados de la implantación de EGBT para aplicaciones industriales. Se expone en este caso una innovadora aplicación evaluada para la instalación de sistemas basados en BCG en granjas, concretamente en una granja porcina aunque esta tecnología es extrapolable a cualquier tipo de instalación de este tipo que requiera de climatización. Además de parámetros técnicos el estudio aborda un importante contenido de tipo económico y financiero ya que estos dos aspectos son cruciales dentro del esquema de implementación de soluciones tipo ESE. En la Tabla 69 se resumen los principales parámetros del experimento propuesto. En este caso se ha utilizado un sistema de hoja de cálculo y una herramienta para el cálculo de cargas térmicas. En línea con la filosofía de diseño del propio laboratorio se demuestra la posibilidad real de contar con múltiples herramientas de trabajo y adaptar estas a cualquier requisito del usuario final.

Tabla 69. Experimento sobre eficiencia energética en granjas con BCG y modalidad ESE

Destinatarios	Alumnos universitarios, Doctorado Profesionales del área energético y del sector ESE Profesionales del ámbito agroalimentario	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de contador de energía con medida vía GRPS/GSM
	Futurible	Sistema SCADA con comunicación con sistema PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos Software de cálculo de cargas térmicas	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de conocimientos sobre tecnologías de ahorro energético en climatización aplicadas al sector industrial</p> <p><u>Proporcionar</u> herramientas de toma de decisión a nivel de inversión por parte de una ESE para la implementación de las tecnologías propuestas</p> <p><u>Concienciar</u> a los propietarios y empresarios del sector sobre la potencialidad de reducción de consumo energético utilizando sistemas de este tipo</p>	
Metodología docente	Estudio autónomo por parte de usuario Sesión formativa magistral Exposición en modo presentación Formación colaborativa e interactiva	

Eficiencia Energética en instalaciones industriales mediante BCG en modalidad ESE

Estudiantes universitarios y profesionales en activo

Sector industrial

Hoja de cálculo y herramienta de cálculo de cargas

Resumen de objetivos del experimento

El usuario de este experimento utiliza los datos de consumo energético de la instalación industrial donde se requiere climatización y compara el consumo energético estimado con un sistema

impacto en los parámetros decisivos de rentabilidad y financiación. El ensayo incluye la valoración ambiental de las soluciones y se centra en el sector agroalimentario. En

El usuario puede analizar el potencial de ahorro energético y los parámetros económicos y financieros asociados a la implantación de BCGs en industrias en modalidad ESE.

de BCG. El objetivo es evaluar la posibilidad real de implantar la solución en una modalidad de ESE por lo que se proporciona además un detallado análisis económico y financiero de la propuesta, que facilitaría la toma de decisión. El análisis incluye un análisis de riesgo y de sensibilidad para detectar qué parámetros son críticos y cuáles proporcionan mayor

este sector existen unas grandes oportunidades de ahorro y es además estratégico para la economía española y europea por lo que la integración de técnicas de mejora de la eficiencia energética en modalidad ESE representa una acción estratégica en este campo.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza los registros del sistema de medición de consumos energéticos de una granja, tanto a nivel térmico (combustible) como a nivel eléctrico (contador de energía eléctrica). Estos registros se utilizan posteriormente para el análisis de soluciones basadas en bomba de calor geotérmica y se comparan los consumos y ahorros obtenidos con los costes con el sistema convencional ya existente.

5.2.2.1. Marco del experimento y justificación

Una Empresa de Servicios Energéticos (ESE) es un tipo de empresa cuyo objetivo es el desarrollo, instalación, operación integral y financiación total o parcial de proyectos centrados en la mejora de la eficiencia energética o la reducción de la demanda de las instalaciones gestionadas. Las ESEs son cada vez más importantes en todo el mundo para promover la eficiencia energética, la instalación de sistemas de energías renovables y para reducir la demanda energética. Este tipo de servicio se conoce como Servicio Energético (SE) (Bertoldi et al., 2003). Los países que han experimentado un proceso de privatización de la electricidad son uno de los principales mercados para esta actividad. Hoy en día los sectores energéticos se encuentran en un proceso de liberalización y privatización en Europa y EE.UU., lo que aumenta las posibilidades de negocio para ESEs. Los SE pueden proporcionar una solución eficaz para mejorar la eficiencia energética y para impulsar el aumento de la utilización de fuentes de energía renovables. Las ESEs son una de las mejores oportunidades para controlar y reducir la creciente demanda energética en Europa y para controlar las emisiones de CO₂ (Dayton et al., 1998). A pesar de las condiciones financieras en Europa y la creciente demanda energética, que teóricamente deberían impulsar las ESEs por aportar una de las mejores soluciones existentes, el mercado de los SSEE en la UE está muy lejos de utilizar su potencial para mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de la energía externa de los países. Hay muchas investigaciones disponibles sobre los factores que influyen en la toma de decisiones de inversiones en eficiencia energética pero éstas no son muy frecuentes para la UE. España es uno de los países donde el potencial de mejora del rendimiento energético es muy elevado, tal y como se ha analizado en capítulos anteriores. A pesar de ello el sector de las ESEs no está logrando los resultados deseados. Las barreras financieras son una de las más importantes pero hay otros factores que tienen que ser analizados y que deben subsanarse para poder facilitar el despegue requerido. Para ello los futuros profesionales en la materia y los profesionales en activo deben conocer perfectamente estos parámetros, labor para la que se propone el laboratorio remoto como herramienta de formación. Para los mercados internacionales, incluidos los EE.UU., los países emergentes como China y Brasil y la UE requieren SSEE a pequeña escala. Estas soluciones pueden proporcionar una reducción efectiva del consumo de energía en los edificios, las pequeñas industrias y en instalaciones comerciales. Las Micro Compañías de Servicios Energéticos (MESEs) proporcionar un nuevo escenario de desarrollo de pequeños SEs ya que pueden acceder fácilmente a los mercados financieros y promover las tecnologías en las que están especializados. En Europa, las

ESEs trabajan tradicionalmente en los campos de la administración pública, la cogeneración, reformas de iluminación y sistemas de calefacción urbana. Los más recientes estudios muestran la situación real del sector. En España el sector tiene ahora un crecimiento lento y los proveedores de SSEE son las grandes compañías eléctricas, de construcción y las de servicios múltiples (Goldman et al., 2002). Los proyectos más comunes son los edificios públicos, los edificios privados no residenciales y las industrias relacionadas con la cogeneración, la realización de auditorías, la mejora de los sistemas de control de climatización y la iluminación. La UE tiene un importante sector agrícola y ganadero con potencial de mejora de la eficiencia energética. La reducción en el consumo de energía hará que estos sectores sean más competitivos y aumente el valor agregado a sus productos y facilita la implantación de certificados de producción sostenible y la reducción de la huella de carbono y agua (Vine and Sathaye, 2000). Las energías renovables pueden proporcionar una solución eficaz para las instalaciones ganaderas a través de empresas de servicios energéticos. Los sistemas de BCG se utilizan generalmente en edificios, pero también pueden ser utilizados con buenos resultados en las instalaciones industriales. El objetivo de este ensayo es proporcionar una plataforma de ensayos para este fin.

En él se propone y se evalúa el uso de BCGs como herramienta para la reducción del consumo energético en industrias ganaderas. El modelo técnico y financiero para la ESCO está incluido y se analiza un caso particular para la cría de cerdos en España. Para hacer el estudio más sólido y proporcionar soluciones avanzadas se realiza un análisis de sensibilidad y un análisis de riesgos por el método de Monte Carlo. El análisis de sensibilidad permite reducir el riesgo y hacer más sencilla la toma de decisión sobre la rentabilidad del proyecto y sus necesidades de financiación. Ambos estudios permiten obtener una relación entre las condiciones climáticas y los parámetros financieros.

La cuestión más relevante en un SE es el tipo de contrato ya que es la clave para garantizar la viabilidad financiera de un proyecto que es técnicamente factible. Un contrato de rendimiento energético, conocido habitualmente por sus siglas en inglés, EPC, permite superar las dificultades de la inversión de capital inicial (Goldman and Dayton, 1996). Además se garantiza un ahorro en el futuro debido a que las ganancias de la ESE están ligadas de uno u otro modo al rendimiento de la instalación. Se trata de una innovadora forma de reducir el riesgo y permite superar la falta de conocimientos técnicos, recursos y presupuesto (Westling, 2003). El EPCs son típicos en edificios, tanto residenciales como comerciales, pero no se usan habitualmente para

mejorar la eficiencia energética en otros sectores con alto potencial, como el sector industrial y el agroganadero. Estos sectores presentan una buena oportunidad de inversión y los EPCs son una buena manera de mejorar la competitividad y reducir los costos de la energía. La solución propuesta en este caso consiste en utilizar BCGs para climatizar granjas de cerdos en sustitución de los sistemas de gasóleo existentes. El uso de un EPC permite:

- Reducir el riesgo financiero asociado con el consumo de energía.
- Utilizar los recursos técnicos de la ESE para el diseño, implementación y su capacidad de financiación.
- Llevar a cabo una auditoría energética detallada para identificar dónde y cuánto se puede reducir la demanda energética y cómo mejorar la eficiencia energética.
- Reducir la huella de carbono.
- Aumentar el valor de venta del producto final por sus mejores parámetros ambientales.

De acuerdo con el modelo de EPC el cliente, en este caso la industria ganadera, no tiene ningún riesgo. Trabajar con una ESE asegura que los ahorros se miden, son verificados y garantizados (Cudahy and Dreessen, 1996). Se ha detallado en los primeros capítulos el importante potencial existente en el área de la mejora de la eficiencia energética en España y en la UE y cómo las ESEs son uno de los principales vectores. Dentro de la UE y concretamente en España los estudios demuestran que la planificación energética en el sector ganadero es muy baja o inexistente (Fraser, 1996). Una ESE ofrece a las organizaciones acceso a recursos adicionales y expertos para implementar soluciones de eficiencia energética (Su, 2011). Después de la mejora energética se integrarán sistemas de monitoreo de energía y para analizar dónde se consume la energía y para cuantificar los ahorros. Estas metodologías pueden ser integradas como parte del laboratorio como nuevos experimentos como o como ensayos en el área de la medida y verificación de ahorros.

El tipo de contrato de servicios energéticos (CSE) es determinante en el modelo económico y financiero. En un modelo de contrato de ahorros compartidos (CAC), el ahorro de costes se dividen por un período determinado de tiempo entre la ESE y el cliente (Murakoshi et al., 2000).

En un contrato de ahorros garantizados (CAG) la ESE garantiza un cierto nivel de ahorro de energía y de esta manera protege al cliente de cualquier riesgo. La diferencia más importante entre la modalidad CAG y la CAC es que en el CAG se garantiza un cierto nivel de mejora de la eficiencia energética mientras que en el CAC se trabaja con el coste económico de la energía ahorrada. Además en una modalidad CAG el riesgo financiero es asumido en nombre de la ESE (Forsberg et al., 2007). Una ventaja clave de este modelo es que ofrece el menor costo de financiamiento, ya que limita los riesgos de las instituciones financieras al ser el solicitante una empresa especializada en el área requerida (Murakoshi and Nakagami, 2003). Como primera acción de la ESE va a hacer una auditoría de grado de inversión (AGI) que cubrirá tanto en el lugar de conversión de energía y el sitio de la demanda. La Tabla 70 muestra las principales características de las principales prestaciones de servicios energéticos basados en las diferentes modalidades contractuales, incluyendo los protocolos de medida y verificación de ahorros (M&V).

Tabla 70. Contratos energéticos, principales características

	Contrato de ahorros garantizados	Contrato de ahorros compartidos	Contrato de suministro de energía
Agente	ESE	ESE	Empresa suministradora de energía
Características	Implementación de medidas de ahorro energético (MAEs) con servicios de M&V para garantizar los ahorros conseguidos	Implementación de mejoras técnicas para proporcionar ahorros energéticos asociados con el coste total de la energía	Proporciona una serie de servicios energéticos a través del outsourcing de la central de energía que transforma energía primaria en energía final como calor, frío...para uso final
Potencial de ahorro energético	Alto. Existe un contrato y una metodología detalladas que abordan la generación de energía y la gestión de la demanda	Ato. El principal objetivo de la ESE es ahorrar energía dejando en un segundo plano la operación del sistema	Bajo. Está limitado al las plantas centrales (calderas, enfriadoras...) sin tener en cuenta los equipos de consumo final
Garantía de eficiencia energética	La ESE garantiza el rendimiento en relación al nivel de energía ahorrado durante la vida del contrato	La ESE garantiza el rendimiento en relación al coste de la energía ahorrado durante la duración del contrato	El suministrador de energía tiene que promover medidas de reducción de consume con el riesgo de que no se alcancen los niveles esperados
Método de pago	Directamente relacionado con los ahorros de energía logrados	Los pagos están relacionados con el coste de la energía	Los pagos están fijados den una tarifa fija sin tener en cuenta ningún parámetro de eficiencia energética
Riesgo para el cliente	Asume el diseño técnico, la implementación, y el riesgo de las garantías	Asume un rendimiento garantizado y parte del riesgo de crédito	Normalmente no asume riesgo financiero y en ningún caso asume riesgo técnico
Mejora de la eficiencia energética y transparencia	Alto. La eficiencia energética es medida antes y después del contrato utilizando protocolos de M&V	Bajo. El objetivo es puramente económico y el alcance del trabajo no se define claramente en el contrato	Bajo. Se produce una reducción en la factura energética pero no en el consume de energía. Habitualmente no se controla la eficiencia energética

Europa se encuentra ahora en una profunda crisis financiera y una recesión económica que está provocando, como una entre otras causas, un lento crecimiento en el negocio ESE en una serie de países (Vine et al., 1999). A pesar de que el marco legislativo está cambiando hacia uno más favorable en el campo de la conservación de

energía (Raemsohl y Dudda, 2001) no se produce un despegue definitivo. Las principales actividades en que las ESEs se centran ahora en rehabilitación de edificios públicos y mejoras en sistemas de climatización. Los principales factores de que están apoyando y obstaculizando el desarrollo se muestran en la Tabla 71 (Gottberg et al., 2009).

Tabla 71. Factores que afectan al desarrollo de las ESEs

Factores de soporte	Factores de riesgo
Aumento progresivo de las políticas de apoyo a empresas y de subvenciones para implantación de mejoras	Crisis económica y financiera
Aumento del coste energético	Falta de colaboración efectiva entre cliente y ESE
Liberalización del mercado energético	Marco legislativo ambiguo
Crecimiento de vías de colaboración entre ESEs	Riesgo técnico y financiero
Apoyos públicos	Falta de estandarización de los Servicios Energéticos
Cambios estructurales	Poco personal cualificado
Mejora en el conocimiento de los servicios energéticos	

A pesar del alto potencial que las ESEs tienen en Europa, tal y como se ha detallado en los primeros capítulos, el mercado está teniendo un crecimiento lento. La promoción y financiación de pequeñas actuaciones por parte de ESEs son una de las oportunidades más importantes para desarrollar la eficiencia energética en pequeñas y medianas empresas (PYMEs) (Schleich et al., 2001). En esta área es una necesidad diversificar las áreas de trabajo que ahora son principalmente edificios (Karathodorou et al, 2010), (Poole and Geller, 1997). España tiene una dependencia energética del exterior del 75% y el coste de la energía era en 2010 aproximadamente de 50.000 millones de €. El negocio neto de las ESEs aumentó un 6,3% en el período 2010-2011 y un aumento del 13% en comparación con 2007 (Labanca, 2010). Una de las principales causas de la falta de despegue del modelo es la ausencia de profesionales en la materia y de difusión de este tipo de servicios, aspecto para el que se propone el presente laboratorio.

5.2.2.2. Solución basada en BCG

Una de las características térmicas del suelo es que a pocos metros de la superficie del suelo se minimiza la amplitud de la variación en la temperatura del suelo en comparación con la temperatura en el aire. La tierra está más caliente que el aire ambiente en invierno y más fresco que el aire ambiente en el verano. Esa característica hace que sea óptimo para actuar como disipador de calor o como foco frío para una bomba de calor y dependiendo de las condiciones climáticas se puede lograr una

reducción en el consumo de energía de un 30% a un 70% para calefacción y de entre un 20% y un 50% en el modo de refrigeración en comparación con bombas de calor de tipo aire. En un sistema BCG las sondas son la parte del sistema donde se produce la transferencia de calor entre la BCG y el suelo se produce. Las BCGs comprenden una amplia variedad de sistemas que utilizan el suelo, agua subterránea, o agua de la superficie como focos térmicos. Los sistemas se pueden clasificar principalmente en dos tipos, el primero son los sistemas de lazo cerrado, donde la conexión a tierra se suele realizar con tubos enterrados en zanjas o con pozos horizontales verticales. Los tubos pueden utilizarse sumergidos en un lago o estanque. En un caso de circuito cerrado una mezcla de anticongelante, agua, u otro fluido de transferencia de calor se distribuye en un ciclo cerrado. El segundo tipo son los sistemas de bucle abierto donde se extrae agua de un pozo o de una masa de agua para utilizarla para transferir calor hacia o desde el agua y luego devolverla. Según la ASHRAE se pueden clasificar según se muestra en la Tabla 72.

Tabla 72. Tipos de intercambiador entre BCG y terreno

Tipo de intercambiador	Características principales
Bombas de calor acopladas con el terreno (GCHPs)	El terreno se utiliza como intercambiador de calor, ya sea vertical u horizontal (GHXs)
Bombas de calor alimentadas agua acuífero (GWHPs)	El agua del acuífero se usa como fuente de calor y como sumidero térmico
Bombas de calor de superficie (SWHPs)	Aguas superficiales se usan como fuente de calor y como sumidero térmico
Bombas de calor alimentadas por agua de acuífero (GFHPs)	Se extrae calor del medio a partir de superficies porosas

Existen muchos métodos de cálculo de intercambiadores de tipo vertical, solución más utilizada en sistemas de BCG. Un sistema VGHX puede dimensionarse utilizando el método recomendado por la International Geothermal Source Heat Pump Association (IGSHPA). Para el dimensionado es necesario conocer la temperatura del terreno, T_g que se calcula según (34).

$$T_g(X_s, t) = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{365} \left[t - t_o - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right]\right) \quad (34)$$

Siendo s la profundidad del terreno, t es el día del año, \bar{T}_g es la temperatura media anual superficial, X_s es la amplitud térmica anual de la superficie ($X_{max}-X_{min}$), α es la difusividad térmica del terreno en m^2/s y t_o es una constante expresada en días. A

partir de (35) se pueden calcular las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del año para cualquier profundidad, (36).

$$T_{g,min} = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (35)$$

$$T_{g,max} = \bar{T}_g + A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (36)$$

Un factor F se usa para calcular la fracción equivalentes de horas a máxima potencia durante el mes de diseño, uno para verano y uno para invierno, (37). Como estimación para el diseño se considera que el valor de \bar{T}_g permanece constante a lo largo del año. Con ello se pueden las longitudes para calefacción y para refrigeración que deberían tener las sondas L_h y L_c que se calculan aplicando (38) y (39).

$$F = \frac{\bar{q}}{q_{max}} \quad (37)$$

$$L_c = q_{d,c} \left[\frac{\left(\frac{COP_c - 1}{COP_c}\right) (R_p + R_s F_c)}{T_{g,min} - T_{w,min}} \right] \quad (38)$$

$$L_{refrig} = q_{d,refrig} \left[\frac{\left(\frac{COP_{refrig} - 1}{COP_{refrig}}\right) (R_p + R_s F_{refrig})}{T_{w,max} - T_{g,max}} \right] \quad (39)$$

En las ecuaciones COP_c y COP_{refrig} son el valor del COP para calefacción y refrigeración respectivamente, R_p la resistencia térmica del tubo, R_s la resistencia térmica del suelo y F_c y F_{refrig} se calculan según se ha indicado. $T_{w,max}$ y $T_{w,min}$ son las temperaturas máximas y mínima del agua en el circuito. El diseño del sistema de intercambiador es crítico para el correcto funcionamiento del sistema y además supone la mayor inversión en estas instalaciones.

5.2.2.3. Tipo de Servicio Energético propuesto

Los cerdos requieren diferentes condiciones de temperatura y humedad en función de su edad y etapa de la vida para lograr buenos resultados de producción y garantizar su salud. La cría de cerdos para la producción de carne incluye varias etapas: la gestación (embarazo de la cerda), parto (dar a luz a los lechones), guardería (cuidado de los lechones jóvenes) y cebo (el crecimiento de los lechones destetados hasta alcanzar el peso adecuado). La fase de gestación dura 115 días (3 meses, 3 semanas y 3 días), y el tamaño medio de la camada es de 10-12 lechones. Las cerdas suelen tener dos camadas de lechones por año. Lechones se mantienen con la cerda durante 3 o 4 semanas antes de ser destetados. Los lechones se mantienen entonces en un vivero de 4 a 8 semanas, hasta que empiezan a comer alimentos sólidos. Se tarda aproximadamente 5 a 6 meses para criar un cerdo en ciclo cerrado. Una vez que los cerdos han alcanzado el peso de mercado que son transportados al matadero. El consumo de energía para la climatización supone un elevado coste. Los sistemas de refrigeración no son habituales en las explotaciones, sólo se utilizan sistemas de enfriamiento evaporativo y sistemas de caldera de gasóleo para calefacción. La tecnología de BCG puede proporcionar refrigeración y calefacción eficaz con un sistema único.

La ESE objeto del estudio instalará los sistemas de BCG y un sistema de fan coils internos. Diversos autores y estudios han detallado las condiciones térmicas óptimas en las diferentes etapas de la vida del cerdo y la relación entre confort térmico y el aumento de peso. Una granja de cerdos situada en Madrid, España, se estudia para evaluar la viabilidad de la solución como ejemplo para el laboratorio remoto. La granja de cerdos estudiados se destina para venta de lechones, no para criar cerdos. Eso hace que el estudio sea un caso más complejo de evaluar y permite obtener resultados más detallados. En ese tipo de explotaciones de ganado porcino de las instalaciones se dividen en tres áreas diferentes. La primera de ellas es el área de parto, la segunda es la instalación de cría y el último es el que destina a la reproducción y la inseminación. La primera de ellas tiene una superficie de 540 m², la segunda 540 m² y la tercera de 378 m². A partir de la introducción de las características de los cerramientos la herramienta propuesta en el laboratorio calcula la demanda energética de las instalaciones. La Tabla 73 muestra los datos para cada instalación y la Tabla 74 muestra las condiciones óptimas en el interior en las instalaciones.

Tabla 73. Características de las instalaciones

Instalación	Peso mínimo (kg)	Peso máximo (kg)	Numero medio de animales	Número máximo de animales	Numero mínimo de animales
Partos	180	190	122	138	120
Cría	210	220	216	216	214
Engorde	195	220	54	60	50

Tabla 74. Condiciones idóneas

	Ti,invierno (°C)		Ti,verano (°C)		Humedad relativa (%)	Velocidad aire (m/s)
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2		
Nacimiento	15	15	25	28	70	0,2-0,7
Cría	15	15	25	28	70	0,2-0,7
Engorde	20	20	22	25	60	0,2-0,5

Se estudian dos situaciones distintas. En el primer caso, caso 1, se utilizan como consigna las temperaturas mostradas en la Tabla 74 y en el caso 2 el sistema está destinado también para ser utilizado en verano para adaptar las condiciones térmicas a las óptimas a nivel de temperatura. Para ambos casos, se calcula mediante la herramienta propuesta la demanda de energía, el sistema geotérmico y el consumo de energía. La inversión inicial es de 155.855 € para el caso 1, incluida la instalación completa con BCG (bomba de calor e intercambiador de calor), fan coils, elementos auxiliares, etc. La inversión para el caso 2 es 195.351 €, debido a la necesidad de aumentar la potencia de refrigeración térmica durante el verano. De acuerdo con las temperaturas en cada caso el incremento esperado en la producción de lechones es del 5% al 7% para el primer caso y del 6% al 10% para el segundo caso. Se fija un precio de venta de 50 € por lechón, el coste de kWh eléctrico se obtiene para la instalación monitorizada y se fija en 0,11473 €/kWh y el coste de combustible diesel en 0,709 €/l. Los resultados se muestran en la Tabla 75 para el caso 1 y en la para el caso 2.

Tabla 75. Resultados para el caso 1

Caso 1								
Aumento de producción (%)	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
Cerdos (Unidades)	9.000	9.090	9.180	9.270	9.360	9.450	9.540	9.630
Aumento ingresos (€)	0	4.500	9.000	13.500	18.000	22.500	27.000	31.500
Periodo de retorno (años)	>15	>15	>15	14	11	9	7	6
Valor Neto Actual	-155,855	-98,033	-40,212	17.610	75.432	133.254	191.075	248.897
Tasa Interna de retorno		-6,59%	-1,07%	3,23%	6,92%	10,25%	13,33%	16,25%

Tabla 76. Resultados para el caso 2

Caso 2											
Aumento de producción (%)	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Cerdos (Unidades)	9.000	9.090	9.180	9.270	9.360	9.450	9.540	9.630	9.720	9.810	9.900
Aumento ingresos (€)	0	4.500	9.000	13.500	18.000	22.500	27.000	31.500	36.000	40.500	45.000
Periodo de retorno (años)	>15	>15	>15	14	11	9	7	6	6	5	5
Valor Neto Actual	-195,351	-137,529	-79,707	-21,886	35,936	93,758	151,579	209,401	267,223	325,044	382,866
Tasa Interna de retorno	-	-	-4,38%	0,44%	4,37%	7,82%	10,97%	13,91%	16,71%	19,41%	22,02%

El análisis muestra que la inversión es rentable para ambos casos para el aumento esperado de cría de cerdos mínimo esperado. El caso base de 0% de aumento en la producción es aquél en el que sólo se cambia el sistema diesel existente y no hay aumento de la producción, en ese caso la inversión no será rentable. El mínimo incremento previsto de producción permite obtener un TIR del 10,25% en el caso 1 y del 10,97% en el caso 2, lo que hace que sea una inversión atractiva. Si el aumento de las producciones es del 7% el TIR será del 16,25% para el caso 1 y del 22,02% para el caso 2. Las ESEs pueden proporcionar mecanismos de financiación para efectuar la inversión necesaria para obtener un buen beneficio. Además se obtienen otras ventajas tales como la reducción de las emisiones de CO₂ y un aumento en el valor añadido de la carne de los lechones, al ser producida mediante técnicas respetuosas con el medio ambiente. El TIR se incrementará cuando se implemente el comercio de emisiones de CO₂ y con el previsible aumento en el coste de los precios de los combustibles fósiles.

5.2.2.4. Análisis de sensibilidad de las soluciones

Las instalaciones de la tipología propuesta tendrán unos parámetros fuertemente influenciados por las condiciones climáticas. La severidad climática tiene una fuerte influencia en la demanda de calefacción y refrigeración en las instalaciones. El aumento de demanda de calefacción o de refrigeración también implica que variarán los costes de inversión iniciales, debido a la necesidad de contar con una instalación de más potencia. El consumo de energía será también más alto debido al aumento en la demanda de refrigeración y calefacción, variarán los términos de producción y por lo tanto los parámetros financieros asociados. Con el fin de evaluar la influencia de las condiciones climáticas en el mismo caso y para poder dotar al estudio de una validez amplia se realiza un análisis de sensibilidad climático en diferentes ciudades de España. España tiene una gran variedad de condiciones climáticas que van desde

lugares que no tienen casi ninguna demanda de calefacción a otros que tienen valores muy altos. Los lugares se caracterizan por medio de los valores de los grados día de calefacción (GDC) para la calefacción y refrigeración y de grados día de refrigeración (GDR) para la refrigeración. Las condiciones climáticas se muestran en la Tabla 77.

Tabla 77. GDC y GDR para diferentes ciudades españolas

Localización	GDC	GDR	Ratio GDR/GDC
Cádiz	508	3.244	6,39
Cartagena	624	3.103	4,97
Melilla	651	3.157	4,85
Almería	673	3.121	4,64
Ibiza	780	3.031	3,88
Málaga	773	2.916	3,77
Alicante	802	3.025	3,77
Huelva	851	3.120	3,67
Sevilla	906	3.013	3,33
Lugo	1.004	2.732	2,72
Badajoz	1.060	2.805	2,65
Murcia	1.024	2.536	2,48
Valencia	1.063	2.534	2,38
Mérida	1.216	2.717	2,23
Córdoba	1.283	2.653	2,07
Cáceres	1.416	2.477	1,75
Barcelona	1.293	2.117	1,64
Bilbao	1.372	1.828	1,33
Granada	1.681	2.199	1,31
Santander	1.336	1.726	1,29
Zaragoza	1.696	2.079	1,23
Tarragona	1.678	1.982	1,18
Gerona	1.659	1.948	1,17
Toledo	1.972	2.179	1,11
La Coruña	1.453	1.508	1,04
Madrid	1.864	1.914	1,03
Ciudad Real	1.933	1.957	1,01
Albacete	1.957	1.972	1,01
Lérida	1.905	1.913	1,00
Logroño	1.923	1.700	0,88
Vigo	1.671	1.451	0,87
Segovia	2.355	1.855	0,79
San Sebastián	1.748	1.359	0,78
Teruel	2.284	1.741	0,76
Cuenca	2.490	1.707	0,69
Huesca	2.320	1.547	0,67
Zamora	2.434	1.559	0,64
Ourense	2.143	1.259	0,59
Oviedo	1.955	1.139	0,58
Valladolid	2.378	1.376	0,58
Soria	2.603	1.504	0,58
Salamanca	2.416	1.373	0,57
Santiago de Compostela	2.028	1.121	0,55
Palencia	2.455	1.321	0,54
Vitoria	2.295	1.207	0,53
León	2.464	1.263	0,51
Burgos	2.965	910	0,31

La Tabla 77 muestra las ubicaciones clasificadas de acuerdo con el valor de la relación de GDR/GDC. La relación tiene una fuerte variación que va desde un valor de 6,39 en Cádiz a 0,31 en Burgos. Esto es extremadamente útil ya que los resultados están validados para un amplio rango de condiciones climáticas y hace extensibles los resultados para los distintos casos. Para cada uno de los lugares mostrados en la Tabla 77 se realizó el análisis y los resultados de los parámetros financieros se calcularon para cada lugar y se muestran en la Tabla 78.

Tabla 78. Resultados del análisis de sensibilidad

Ciudad	GDC	GDR	Ratio Frío/Calor	TIR antes de impuestos	PR
Cádiz	508	3.244	6,39	16,23%	4,90
Cartagena	624	3.103	4,97	15,83%	5,00
Melilla	651	3.157	4,85	14,42%	5,35
Almería	673	3.121	4,64	14,26%	5,70
Ibiza	780	3.031	3,88	14,18%	5,83
Málaga	773	2.916	3,77	12,97%	6,02
Alicante	802	3.025	3,77	12,50%	6,21
Huelva	851	3.120	3,67	12,80%	5,83
Sevilla	906	3.013	3,33	12,70%	7,29
Lugo	1.004	2.732	2,72	12,97%	5,77
Badajoz	1.060	2.805	2,65	11,81%	6,30
Murcia	1.024	2.536	2,48	11,18%	7,33
Valencia	1.063	2.534	2,38	11,35%	6,66
Mérida	1.216	2.717	2,23	11,09%	6,41
Córdoba	1.283	2.653	2,07	11,35%	6,31
Cáceres	1.416	2.477	1,75	11,37%	7,56
Barcelona	1.293	2.117	1,64	11,81%	6,15
Bilbao	1.372	1.828	1,33	11,35%	7,80
Granada	1.681	2.199	1,31	11,15%	8,15
Santander	1.336	1.726	1,29	11,05%	6,42
Zaragoza	1.696	2.079	1,23	10,62%	7,94
Tarragona	1.678	1.982	1,18	10,37%	6,68
Gerona	1.659	1.948	1,17	10,36%	7,86
Toledo	1.972	2.179	1,11	10,42%	6,93
La Coruña	1.453	1.508	1,04	10,32%	6,66
Madrid	1.864	1.914	1,03	10,12%	8,51
Ciudad Real	1.933	1.957	1,01	10,12%	8,36
Albacete	1.957	1.972	1,01	9,81%	6,91
Lérida	1.905	1.913	1,00	9,71%	6,95
Logroño	1.923	1.700	0,88	9,18%	8,45
Vigo	1.671	1.451	0,87	9,18%	8,22
Segovia	2.355	1.855	0,79	9,17%	7,18
San Sebastián	1.748	1.359	0,78	9,16%	7,84
Teruel	2.284	1.741	0,76	9,18%	7,18
Cuenca	2.490	1.707	0,69	8,63%	7,43
Huesca	2.320	1.547	0,67	8,67%	7,41
Zamora	2.434	1.559	0,64	8,51%	7,49
Ourense	2.143	1.259	0,59	8,08%	7,70
Oviedo	1.955	1.139	0,58	7,81%	8,19
Valladolid	2.378	1.376	0,58	6,64%	9,09
Soria	2.603	1.504	0,58	6,28%	9,10
Salamanca	2.416	1.373	0,57	6,18%	9,09

Tabla 78. Resultados del análisis de sensibilidad (continuación)

Ciudad	GDC	GDR	Ratio Frío/Calor	TIR antes de impuestos	PR
Santiago de Compostela	2,028	1,121	0,55	6,03%	9,05
Palencia	2,455	1,321	0,54	5,64%	9,30
Vitoria	2,295	1,207	0,53	5,19%	9,39
León	2,464	1,263	0,51	5,09%	9,45
Burgos	2,965	910	0,31	5,14%	9,51

Los resultados obtenidos muestran una alta relación entre la viabilidad económica y las condiciones climáticas. Este resultado es muy útil para que la ESE pueda analizar la viabilidad de inversión. El análisis de los resultados muestra que el TIR varía desde un valor máximo de 16,23% en Cádiz a un valor mínimo de 5,14% en Burgos. El máximo PR, con un valor de 9,51 años, también se encuentra en Burgos, mientras que el valor es de sólo 4,90 en Cádiz. Los resultados muestran que los parámetros financieros son mejores para las condiciones climáticas con una alta relación GDR/GRC. Esto es debido a que como se sugiere en el documento la mejora de las condiciones térmicas interiores hace posible aumentar la producción de carne siendo el aumento en el consumo de energía muy bajo en comparación con el uso de sistemas tradicionales de refrigeración.

En la Fig. 96 se muestra la relación entre el PR y los GDC y la relación entre el PR y los GDR. El análisis es correspondiente con los resultados anteriormente mencionados.

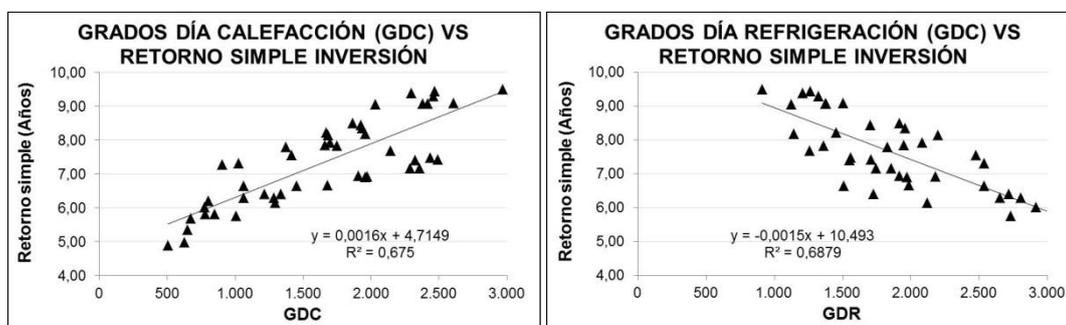


Fig. 96. Evolución del periodo de retorno con el valor de GDR y GDC

En la Fig. 97 se muestra la variación del TIR al evolucionar el valor del CGC y cuando varía el valor de los GDR.

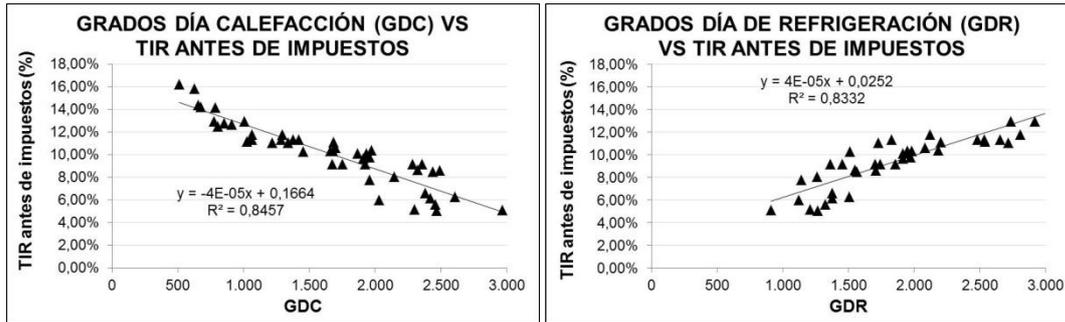


Fig. 97. Evolución del TIR con el valor de GDR y GDC

En la Fig. 98 se muestra la influencia del ratio GDR/GDC en el valor del PR y del TIR.

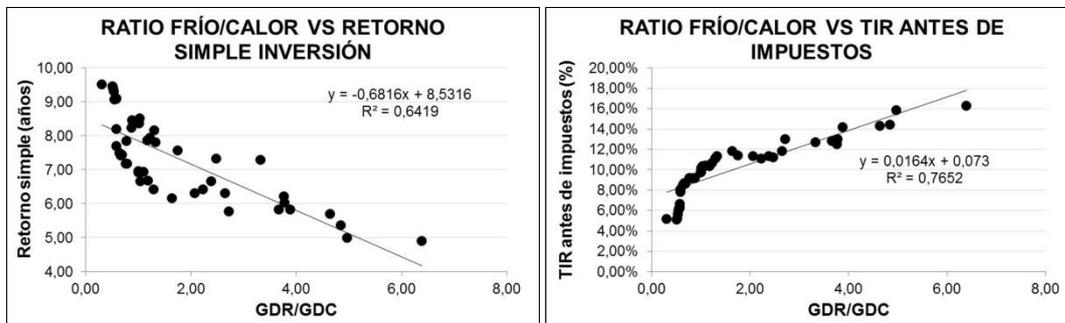


Fig. 98. Influencia del ratio GDR/GDC en el periodo de retorno y en el TIR

Estos resultados hacen extensible la solución propuesta para un amplio rango de condiciones climáticas en Europa. Con el fin de analizar la influencia de cada uno de los parámetros que influyen en el PR y en el TIR el usuario puede llevar a cabo una simulación de Monte Carlo. La simulación de Monte Carlo es un método por el cual se genera la distribución de posibles resultados de los indicadores financieros mediante el uso de conjuntos seleccionados al azar de los valores tomados como parámetros de entrada, dentro de un rango predeterminado, para simular los posibles resultados. Para cada parámetro de entrada se generan 500 valores aleatorios utilizando una distribución normal con una media de 0 y una desviación estándar de 0,33. Una vez generados, estos números aleatorios son tomados como fijos. Cada valor aleatorio se multiplica por el porcentaje correspondiente de variabilidad que el usuario puede especificar, en este caso el 20%. El resultado es una matriz de 500x9 que contiene los porcentajes de variación que se aplicarán al valor de los parámetros de entrada inicial a fin de obtener 500 resultados para los indicadores de salida. El resultado se muestra en la Fig. 99 para el PR y para el TIR después de impuestos.

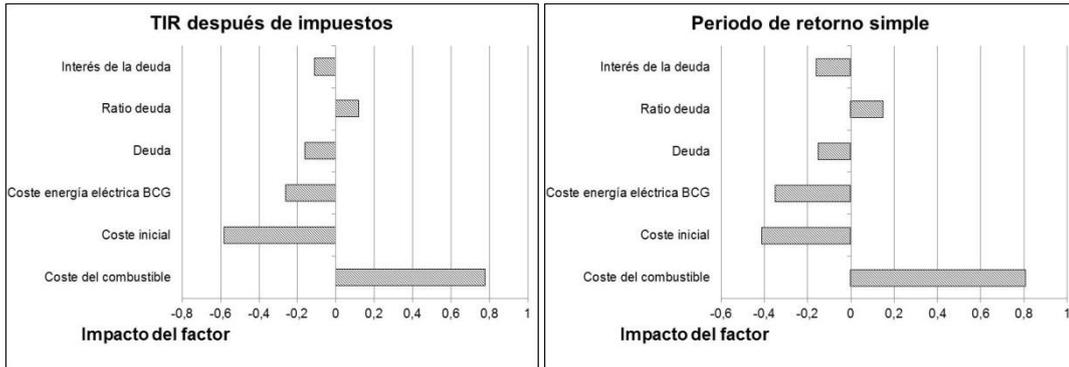


Fig. 99. Análisis de riesgo

Se comprueba que los parámetros de coste del combustible y de la inversión inicial son críticos en este tipo de instalaciones.

5.2.2.5. Conclusiones

El análisis de los resultados permite concluir que el uso de BCGs es una posibilidad con unos parámetros técnicos, económicos y financieros adecuados y que se ajustan al modelo de una ESE, por poder este tipo de empresa acometer la inversión inicial y ofrecer garantía al usuario. El usuario puede analizar cómo evolucionan todos los parámetros en función de múltiples parámetros de entrada y por lo tanto adquiere una formación que le capacita para toma de decisiones en este ámbito y proporciona una herramienta que puede ampliarse con la introducción de experimentos en múltiples ámbitos sectoriales así como para comprobar el funcionamiento de instalaciones existentes y realizar labores de I+D+i en este campo.

5.2.3. Eficiencia energética en sistemas de iluminación industrial

Dentro del entorno industrial los sistemas de iluminación interior constituyen un consumo energético importante en muchos tipos de industrias y procesos productivos, dada la necesidad de contar con estos sistemas para poder llevar a cabo la actividad productiva. Esta característica es común a un gran número de instalaciones, lo que permite que el experimento sea extrapolable a un gran número de aplicaciones. En el ensayo propuesto se utilizan datos reales de consumo energético de una instalación industrial que se ha incorporado al laboratorio remoto y el usuario puede analizar qué impacto tendría sobre el consumo energético la implantación de tecnologías lumínicas más eficientes. Además de los cálculos energéticos el sistema se apoya en herramientas de cálculo lumínico que facilitan la asimilación de conceptos por parte del usuario y permiten aportar un marco de formación global. Este tipo de experimento es susceptible de tener un gran número de réplicas futuras que consistirán en la incorporación de nuevos elementos al laboratorio remoto o en monitoreo de instalaciones realizadas. La versatilidad es total y en este caso se propone un ensayo en el que el usuario puede evaluar el ahorro derivado de la utilización de un sistema de inducción electromagnética externa en sustitución de las lámparas de alta presión existentes. Las principales características del ensayo se resumen en la Tabla 79.

Tabla 79. Experimento sobre eficiencia energética en sistemas de iluminación industrial

Destinatarios	Alumnos universitarios Profesionales del sector de operación y mantenimiento industrial Público general en sesiones de formación y concienciación en la materia	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de medida integrado en cuadros de alumbrado con comunicación vía IP o GRPS/GSM
	Futurible	Sistema de monitoreo tipo PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos Software de simulación y cálculo lumínico	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de conocimientos sobre los sistemas de iluminación de alta eficiencia energética y de una herramienta para el cálculo de ahorros en instalaciones reales y de simulación para la verificación del cumplimiento de los requerimientos lumínicos</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para la toma de decisión sobre la viabilidad del cambio de tecnología de iluminación y de las consecuencias asociadas al mismo</p> <p><u>Concienciar</u> del consumo energético asociado a la iluminación y de la existencia de tecnologías de probada eficiencia para su reducción</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Eficiencia Energética en sistemas de iluminación industrial
Estudiantes universitarios y profesionales en activo Sector industrial Hoja de cálculo y software de simulación lumínica

Resumen de objetivos del experimento

Los sistemas de iluminación son de uso transversal en aplicaciones industriales. En el experimento propuesto el usuario puede acceder a las lecturas de un sistema de medida energética colocado en una instalación de iluminación industrial.

global. Múltiples instalaciones o tecnologías de alumbrado pueden irse incorporando de un modo sencillo, ampliando de este modo las capacidades del laboratorio en esta área. La inclusión de

El usuario analizar cómo varía el consumo energético al utilizar una tecnología de iluminación eficiente y simular la nueva opción para comprobar los niveles lumínicos obtenidos.

El usuario puede realizar cálculos sobre los ahorros derivados de la sustitución de la tecnología propuesta y comprobar, mediante un software de simulación de, los niveles de iluminación conseguidos con la nueva tecnología. De este modo el usuario adquiere conocimientos y habilidades en el ámbito energético pero sin olvidar los factores de calidad y uniformidad a nivel lumínico, proporcionando por lo tanto una herramienta de trabajo

instalaciones que cuenten con una instalación de iluminación eficiente permitiría realizar una comparativa con una gran utilidad para la medición y comprobación de ahorros.

Tecnologías utilizadas
•••
Un sistema de medida colocado en los cuadros de alumbrado es la opción utilizada. Este tipo de sistemas, de sencilla colocación y utilización, permiten registrar y acceder en tiempo real a los consumos energéticos de las partes que se desean monitorear, aportan unos datos con un gran valor añadido y facilitan la toma de decisiones. La tecnología utilizada es GPRS y en un futuro cualquier desarrollo que reduzca los costes de inversión y de comunicación se puede incorporar de forma sencilla al laboratorio.

5.2.3.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento

El usuario del experimento tiene un área de trabajo donde puede realizar los cálculos de ahorro energético y posteriormente puede, en otra zona de trabajo, realizar simulaciones lumínicas con las tecnologías propuestas para validar la solución.

A. Zona de cálculo de ahorros

El usuario accede a los consumos energéticos de la instalación de iluminación industrial y propone una nueva opción de iluminación. A partir de la introducción de los parámetros de costes y uso se calculan los ahorros derivados de la actuación. Además de los términos económicos se incluye un cálculo de la reducción de emisiones de GEI asociada a la actuación y un análisis económico y financiero de la actuación. En este tipo de instalaciones el no realizar la actuación lo antes posible implica un coste asociado a la no actuación, que también se contempla. Este apartado es de gran utilidad para formación de personal responsable de secciones de operación y mantenimiento industrial ya que les permite tomar conciencia de los beneficios inmediatos asociados a la sustitución, Fig. 100.

Iluminación industrial- Sistemas innovadores basados en lámparas de inducción electromagnética externa					
Nombre proyecto					
Número de lámparas	24				
Coste por lámparas	299,00 €	Coste de luminarias y sustitución	8.496,00 €	Subvenciones y ayudas	- €
Coste sustitución unitario	55,00 €				
Ayudas por luminaria (%)	0%			Coste total	8.496,00 €
1 Disminución de potencia por instalación de nueva lámpara y luminaria					
Sistema existente	Nuevo sistema		Disminución de potencia	Número de lámparas	Disminución potencia
Lámpara + equipo auxiliar	Lámpara + equipo auxiliar		Por luminaria		
368 W	- 105 W	=	263 W	X 24	= 6.312 W
					6,312 kW
2 Ahorro energético anual por sustitución de nuevas lámparas y luminarias					
Disminución de potencia	Horas de uso diario	Días semana de uso	Semanas de uso al año	Energía ahorrada kWh al año	
6,312 kW	X 12 h	X 7 d	X 52 semanas	= 27.570,82	
3 Ahorro energético y económico anual por sustitución de nuevas lámparas y luminarias					
Ahorro total energía anual	Coste eléctrico		Ahorro económico al año		
27.570,82 kWh/año	X 0,11 €/kWh	=	3.032,79 €		
4 Ahorro derivado de mayor vida útil de la nueva tecnología					
Vida estimada sistema	Horas de uso al año	Años de vida estimados		Ahorros al año	Ahorros en vida útil
100.000 h	4.368 h	=	22,89 años	X 3.032,79 €	= 69.432 €
5 Retorno de la inversión					
Ahorro por proyecto	= 0		= 8.496 €	=	2,801 años
Ahorro energía	Ahorro de energía anual		3.033 €		
Retorno de la inversión PR	A partir de cambios en el primer año	= 100	= 100	=	35,70 %
6 Reducción de costes por ahorro en etapa de explotación (mantenimiento y operación)					
Vida estimada sistema	Vida estimada existente	Número de lámparas	Mantenimiento por luminaria	Mantenimiento - recambios	Ahorros vida útil
100.000 h	18.000 h	X 24	X (€)	+ (€)	= 6.000 €
7 Retorno global de la inversión y ahorro generado anualmente					
Ahorros por replazamiento en vida útil	6.000 €		Vida útil del sistema	Ahorro por año	
	+		22,89 años	= 262 €	
Retorno simple por Energía	Costes iniciales		8.496 €		
Costes mantenimiento	Energía		3.295 €		
Periodo de Retorno PR	Ahorros de costes		100		
	=		100	=	38,78 %
8 Efecto medioambiental de las mejoras					
Factor de conversión g CO ₂ /kWh	Reducción emisiones CO ₂ anuales (kg)		Reducción emisiones CO ₂ vida útil proyecto (kg)		
628	17314		396394		
	Reducción emisiones CO ₂ anuales (toneladas)		Reducción emisiones CO ₂ vida útil proyecto (toneladas)		
	17		396		

Costes por esperar			
Sistema existente		Sistema propuesto	
Potencia actual (W)	368	Potencia propuesta (W)	105
Número de lámparas	24	Número de lámparas	24
Horas de uso al año	4.368	Horas de uso al año	4.368
Coste por kWh	0,11 €	Coste por kWh	0,11 €
Coste por año de operación	4.243,60 €	Coste por año de operación	1.210,81 €
Coste por no implementar mejoras			
Coste por no mejorar	252,73 €	Al mes	3.032,79 € Al año

Fig. 100. Ensayo de sustitución de tecnología lumínica

B. Zona de simulación lumínica

El usuario obtiene puede acceder a una herramienta de simulación lumínica que se desee utilizar, se muestra de nuevo en este punto la total versatilidad del laboratorio para adaptarse a cualquier requisito o demanda según el fin docente. En este caso se ha optado por la inclusión de la simulación realizada con el software Dialux, Fig. 101. El poder comprobar que se siguen manteniendo los niveles lumínicos

requeridos y proponer acciones para hacer que así sea (reubicación de luminarias, modificación de configuración...) permite dotar al experimento de una metodología de cálculo completa y que hace que el usuario adquiera un conocimiento global.

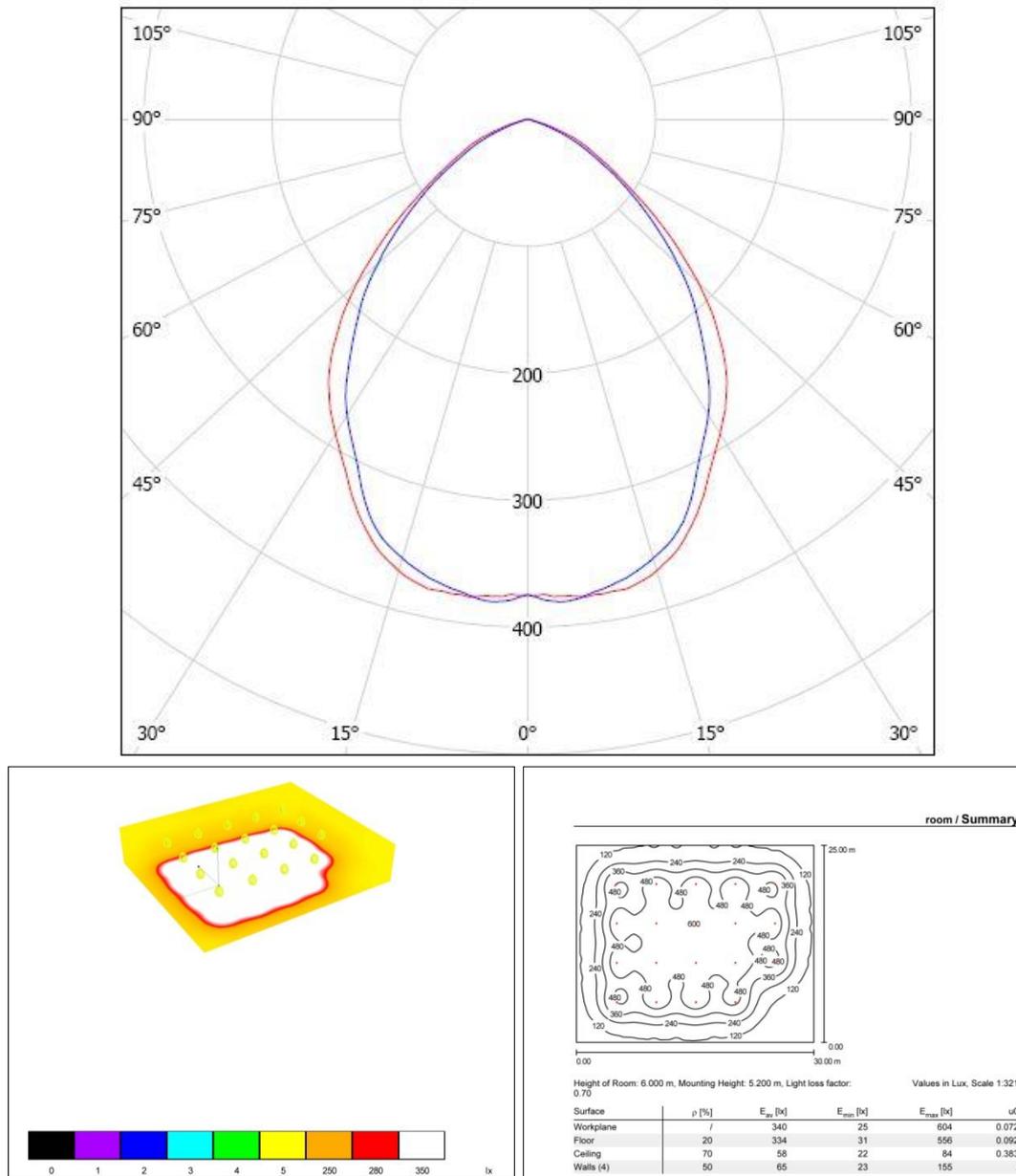


Fig. 101. Capturas de simulación lumínica

5.2.4. Reducción de costes de acceso a redes de distribución eléctricas

La liberalización del mercado eléctrico en España y en los países de Europa ha conllevado una profunda modificación en la normativa y en la operatividad del sistema eléctrico en cuanto a regulación tarifaria y de acceso a redes de distribución. De facto han desaparecido las tarifas y en donde aún quedan remanentes regulatorios se ha de producir una liberalización final en los próximos años, caso de la tarifa de último recurso. La optimización de los costes de acceso a redes de las empresas y organismos puede suponer importantes ahorros económicos sin necesidad de realizar ninguna inversión. El usuario accede a instalaciones monitoreadas a partir de su contador (contador telegestionado) y en el experimento propuesto puede analizar y simular cómo evolucionarían los costes de acceso a redes eléctricas en función de los parámetros de contratación, analizar los ahorros obtenibles y realizar una optimización que conlleve el menor coste total. En un proceso productivo estacionario la optimización sólo se habrá de llevar a cabo una vez, excepto si se producen variaciones normativas, mientras que en el caso de procesos productivos o tipologías de uso variables esta puede ser necesaria cada cierto periodo de tiempo o cuando hay una modificación sustancial del perfil de demanda. La inclusión de nuevas instalaciones dará lugar a una completa y compleja plataforma de ensayos donde se pueden analizar y optimizar instalaciones del sector industrial, residencial, terciario etc. sin límite alguno en cuanto a tamaño o funcionalidad. En la Tabla 80 se muestran las principales características del experimento. Además en el ejemplo propuesto se analiza un modelo de predicción de demanda que se implanta en el experimento para realizar ensayos que permiten estudiar las ventajas asociadas a la reducción de costes de acceso como consecuencia de tener una herramienta predictiva que evita que los valores de demanda se alejen de los previstos, aspecto que conlleva una importante repercusión económica en modo de penalización.

Tabla 80. Experimento sobre reducción de costes de acceso a redes de distribución eléctricas

Destinatarios	Alumnos universitarios, Doctorado Profesionales del área energético y de comercialización y distribución eléctrica Profesionales del sector energético	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de contador de energía telegestionado con medida vía GRPS/GSM
	Futurible	Sistema de contador con comunicación con sistema PLC
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de un conocimiento profundo sobre el sistema tarifario y el acceso a redes de distribución eléctrica</p> <p><u>Proporcionar</u> herramientas de toma de decisión en la contratación de las condiciones de acceso, orientada a la reducción de costes reales</p> <p><u>Concienciar</u> a los responsables de contratación de la existencia de posibilidades reales de ahorro sin inversión</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Reducción de costes de acceso a redes de distribución eléctricas

Estudiantes universitarios,
Doctorado y profesionales

Sector industrial

Hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

El usuario accede a los datos de las instalaciones que cuentan con sistema de telemedida y que se han incorporado a la infraestructura de instalaciones del laboratorio remoto. Con

podría utilizar para evitar desvíos que darían lugar a importantes penalizaciones. En todo caso el usuario puede introducir todos los parámetros vigentes en materia de

El usuario puede analizar el potencial de ahorro económico conseguible mediante la optimización de las tarifas de acceso para una instalación real.

estos datos se puede analizar cuál sería el coste de contratación de acceso a redes bajo diferentes parámetros y opciones. En la plataforma se incluye una herramienta de optimización que genera la modalidad de contratación que, en base a una demanda registrada, minimiza el coste total. En la propia herramienta se integra un sistema de predicción de demanda que se

tarifas de acceso por lo que la herramienta es totalmente actualizable y la inclusión de nuevas instalaciones dará lugar a que se amplíe el abanico de tipologías a estudio, se mejore la confiabilidad y aumente el valor y el potencial docente.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza las lecturas registradas por el contador de medida fiscal de la compañía eléctrica, telegestionado mediante tecnología GPRS/GSM. La implantación masiva de contadores telegestionados y con capacidad AMR facilita la integración de nuevas instalaciones y un acceso más rápido y sencillo a los datos así como la posibilidad de comprobar cómo se comportan las instalaciones optimizadas.

5.2.4.1. Antecedentes y entorno normativo del experimento

En los últimos años la mayoría de los países se encuentran envueltos en un proceso de liberalización de sus mercados energéticos de gas y electricidad. Esta desregularización tiene como objetivo final incrementar la competitividad de precios de los suministros, la mejora del suministro y en resumen, la mejora del sistema (Hunt, 1996). En el caso de los mercados eléctricos la liberalización del mercado debe dar lugar a una mejora en las tecnologías y medios de generación eléctrica, de la gestión del sistema y de los costes asociados. Como resultado, el cliente final de electricidad debería obtener la energía eléctrica a menor coste y se deberían aumentar los índices de calidad y continuidad de suministro (Faruqui and Malko, 1999). Además de los cambios en la infraestructura del sistema, en el modelo energético, en las fuentes de generación y en la gestión también han aparecido importantes cambios en el sistema tarifario.

El modelo tarifario se basa fundamentalmente en dos términos, uno que tarifica los costes de suministro de potencia eléctrica y otro que tarifica la energía consumida. Además existen términos adicionales como los que evalúan el factor de potencia y los excesos de potencia respecto de la contratada. El consumidor final en un mercado liberalizado puede consumir la energía eléctrica a través de una compañía distribuidora o acudir directamente a la compra directa de energía en el mercado de subastas. El sistema tarifario eléctrico distingue los tipos de acceso a red en función de la tensión de suministro. En todos los casos y sea cual sea la tensión de suministro y la modalidad de compra el término de acceso a red o término de potencia se aplica a cualquier consumidor y se penaliza o limita la potencia demandada en cada instante. En el caso de que la potencia no se limite físicamente mediante un dispositivo de corte se producen multas por exceso de potencia que suponen costes elevados para los consumidores.

La potencia contratada puede diferir para diferentes periodos horarios, mensuales y anuales y constituye una herramienta fundamental para la planificación y operación del sistema eléctrico. A medida que aumenta la potencia contratada también lo hace el coste de acceso. En los nuevos sistemas de SGs basados en la generación distribuida este parámetro permite conocer de forma aproximada la máxima demanda energética requerida en cada momento y ajustar de este modo la generación (Westling, 2003). Los consumidores conectados a la red demandan una potencia que se registra habitualmente en una base cuartohoraria u horaria con el objeto de cuantificar los excesos de potencia frente a la contratada. En función del número de excesos de

potencia, de su periodo horario y de su valor, se realiza una tarificación que penaliza esa elevada demanda.

En este apartado se analiza cuál es la estructura del mercado eléctrico español y se propone un método para la optimización de los costes del término de potencia conocida la curva de demanda del cliente final. Este es un problema de optimización que permite contratar la potencia en cada periodo que proporciona el menor coste final, como suma del término fijo de potencia y de las multas de exceso. Pese a la aplicación de este método las curvas de demanda no son siempre estacionarias o siguen el mismo patrón, de modo que pueden producirse variaciones que conlleven costes asociados. Para resolver ese aspecto se propone un predictor de demanda que puede ser implementando en cualquier sistema de medida eléctrica y que permite predecir la demanda eléctrica en una ventana cuartohoraria en base a las mediciones eléctricas en tiempo real que se lleven a cabo con un sistema SCADA instalado a tal fin. Esto permite detectar si al ritmo de demanda actual se va a superar la potencia contratada en el periodo de medida cuartohorario y por lo tanto evitar la consiguiente multa. El método propuesto se puede aplicar para diferentes perfiles de carga de las instalaciones monitoreadas. Se propone la integración de esta funcionalidad dentro del sistema de control y medida de la instalación para establecer protocolos automáticos que eviten superar la potencia contratada y reducir por lo tanto el coste de explotación.

Para poder llevar a cabo los ensayos y cumplir con la labor docente requerida es necesario analizar los diferentes términos que componen la tarifa eléctrica y concretamente el coste del coste asociado a las tarifas de acceso (término de potencia).

A. Estructura del mercado eléctrico

El mercado eléctrico español ha sido paulatinamente liberalizado y actualmente este proceso ya ha finalizado. El sistema eléctrico se compone de tres agentes fundamentales, los generadores, la entidad de control de mercado y los consumidores (Martínez, 1991). En la Fig. 102 se detalla un esquema sobre el principio de funcionamiento y la estructura del mercado eléctrico.

El consumidor puede adquirir energía eléctrica a través de un comercializador de energía o comprar la energía de forma directa. En el primer caso el comercializador compra energía en el mercado y la vende a los consumidores. En el segundo caso el propio consumidor compra energía de forma directa en el mercado. En el caso de la compra directa como consumidor directo se eliminan los costes asociados al beneficio

del suministrador pero es necesario contar con una infraestructura de personal y medios adecuada por lo que es una opción minoritaria y dirigida a grandes consumidores (Maestre, 1990), (Ariño and López de Castro, 1998), (Álvarez, 1997). Este modelo es similar a los que se utilizan en Europa y en EE.UU., por lo que el modelo es exportable a diferentes países y lugares.

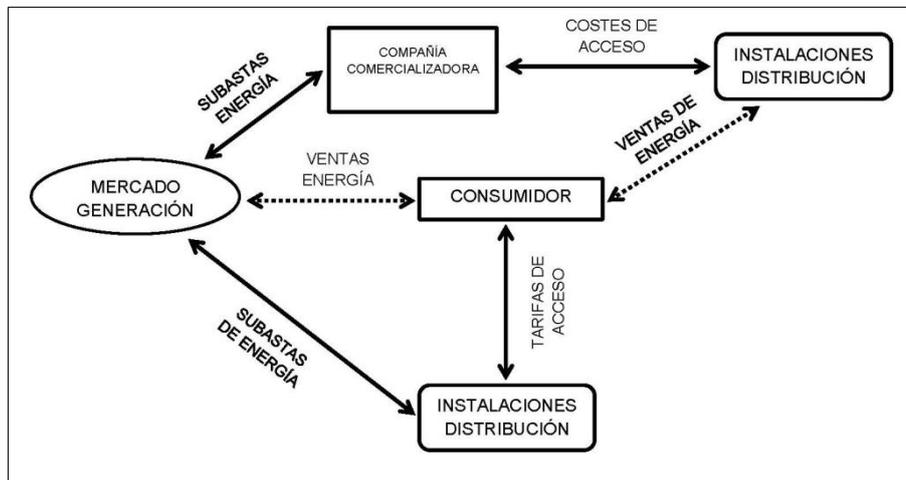


Fig. 102. Estructura del mercado eléctrico en España

El precio final de la energía se cuadra hora a hora en función de la relación entre la demanda, representada por las suministradoras y los consumidores directos, y la oferta de los generadores. En el caso de acceso como consumidor directo se paga el precio horario de la energía en el pool eléctrico mientras que si se accede a través de un comercializador el precio ha sido previamente fijado para cada periodo horario por el comercializador. Independientemente del coste de la energía ha de pagarse un coste adicional por el uso de las redes eléctricas. Este término representa el término de acceso a red (tarifas de acceso).

B. Tarifas de acceso a la red

Los términos de tarifa de acceso se pagan para acceder a la utilización de la red eléctrica en el sistema eléctrico español. El Real Decreto 1164/2001 (RD1164, 2001) establece las diferentes modalidades de acceso a red en función del nivel de voltaje y de la potencia contratada y en función del número de periodos de la tarifa de acceso y de la potencia a contratar en cada periodo se calcula el coste de acceso anual. Las tarifas se basan en una división del periodo anual en n periodos de facturación. Estos periodos de facturación pueden ser uno, dos, tres o seis periodos, Tabla 81. Los periodos horarios de facturación varían en función del día de la semana, época del año, mes y hora.

Tabla 81. Tarifas de acceso. Niveles de tensión

Nivel de tensión	Periodos
Baja tensión	
2.0A ($P_c \leq 10$ kW)	1
2.0DHA ($P_c \leq 10$ kW)	2
2.1A (10 kW $< P_c \leq 15$ kW)	1
2.1DHA (10 kW $< P_c \leq 15$ kW)	2
3.0A ($P_c \geq 15$ kW)	3
Alta tensión	
3.1A (1 kV $< V_L \leq 36$ kV) - ($P_{c,3} \leq 450$ kW)	3
6.1 (1 kV $< V_L \leq 36$ kV) - ($P_{c,6} > 450$ kW)	6
6.2 (36 kV $< V_L \leq 72,5$ kV) - ($P_{c,6} > 450$ kW)	6
6.3 ($72,5$ kV $< V_L \leq 145$ kV) - ($P_{c,6} > 450$ kW)	6
6.4 ($V_L > 145$ kV) - ($P_{c,6} > 450$ kW)	6

En las tarifas de acceso para baja tensión las potencias a contratar en cada periodo i ($P_{c,i}$) son las mismas para todos los periodos, lo que implica que $P_{c,i} = P_{c,i+1}$ para i desde 1 hasta 2, condición 1, mientras que en el caso de las tarifas para alta tensión se debe cumplir que en todo caso que $P_{c,i} \leq P_{c,i+1}$ para i desde 1 hasta 5, condición 2.

El coste de acceso a la red es abonado por el cliente al distribuidor de energía eléctrica, ya sea la energía adquirida bajo modalidad de compra directa o adquirida a un comercializador eléctrico. El coste anual del término de acceso a redes es diferente para cada tarifa y para cada uno de los periodos cumpliéndose siempre que $t_{p,i} < t_{p,i+1}$ para i desde 1 hasta 2 para tarifas de tres periodos y para i desde 1 hasta 5 para seis periodos, condición 3.

El coste del acceso a red para un periodo anual se calculará según (40) para los n periodos de la tarifa.

$$FP = \sum_{1}^n t_{p,i} P_{c,i} \quad (40)$$

La potencia es contratada para un periodo anual pagándose este término de forma prorrateada en cada factura mensual en función de los días del mes.

C. Sobrecostes por excesos de potencia

La potencia demandada por el consumidor no puede superar la contratada ya que en caso de que la potencia demandada supere la contratada se procederá a interrumpir de forma automática el suministro o a cobrar unos recargos al

consumidor a modo de penalización (RD1164, 2001). El cálculo de las multas depende del tipo de tarifa de acceso. Los aparatos de medida registrarán la potencia cuarto horaria máxima demandada en cada período tarifario para las tarifas 3.x y las potencias cuartohorarias dentro del periodo de integración para las tarifas 6.x. Estas medidas disponibles pueden ser integradas en el laboratorio como parte de los ensayos propuestos.

- Excesos de potencia en tarifas 2.x

El control de la potencia demandada se realizará mediante la instalación del interruptor de control de potencia (ICP) que cortará el suministro si se supera la potencia contratada. En el caso de dos periodos el control mediante ICP se realizará para la potencia contratada en el período diurno.

- Excesos de potencia en tarifas 3.x

Siendo el valor de los registros $P_{d,j}$ =potencia demandada en cada uno de los cuartos de hora del período j en que se haya sobrepasado $P_{c,i}$ y $P_{c,i}$ =potencia contratada en el período i en el período considerado, se establecen tres casos de facturación en función de la potencia máxima cuartohoraria que se muestran en la Tabla 82.

Tabla 82. Excesos de potencia en tarifas 3.x

Potencia demandada	Potencia a facturar
$\max(P_{d,j}) \leq 0,85P_{c,i} \leq 1,05P_{c,i}$	$P_{f,i} = P_{d,i}$
$\max(P_{d,j}) > 1,05P_{c,i}$	$P_{f,i} = P_{d,i} + 2(\max(P_{d,i}) - 1,05P_{c,i})$
$\max(P_{d,j}) < 0,85P_{c,i}$	$P_{f,i} = 0,85P_{d,j}$

- Excesos de potencia en tarifas 6.x

Cuando la potencia demandada supere la contratada se facturará además un término de exceso de potencia para todos los excesos de potencia. El término a facturar por exceso de potencia se calculará según (41).

$$FEP = \sum_{i=1}^6 K_i K_m A_{e,i} \quad (41)$$

Donde K_i es un coeficiente que tomará los siguientes valores dependiendo del período tarifario i , Tabla 83, y K_m es un coste de la multa.

Tabla 83. Valores de K_i

Periodo	1	2	3	4	5	6
K_i	1	0,5	0,3	0,3	0,3	0,1

El término $A_{e,i}$ se calculará según (42).

$$A_{e,i} = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (P_{d,j} - P_{c,i})} \quad (42)$$

5.2.4.2. Optimización del coste de acceso a redes

Se aborda en este apartado el proceso de optimización de la potencia a contratar para minimizar el coste de las tarifas de acceso que el usuario puede llevar a cabo en el laboratorio y además se propone un método predictivo de demanda para evitar superar en todo momento la potencia óptima, ya que daría lugar a las consiguientes multas por exceso de potencia. La optimización del acceso a la red y de la potencia demandada por parte del consumidor son fundamentales para la correcta operación y funcionamiento del sistema (Fraser, 2001), (Rosenzweig et al., 2003), (Hirst and Kirby, 2001), (Parmesano, 2003). La mayoría de los grandes consumidores, principalmente de tipo industrial, se conectan a niveles de alta tensión y han de elegir seis potencias contratadas, lo que aumenta la complejidad de la contratación. Para cada caso de curva de demanda eléctrica se puede optimizar la potencia contratada en cada periodo de modo que se minimice el coste anual del término de acceso a red y de excesos de potencia. Una vez realizada la optimización ha de contarse con un sistema que permita prever la demanda energética a registrar en el periodo cuartohorario de modo que se evite superar la potencia prevista.

A partir de una curva de demanda anual del consumidor, registrada en el sistema de teledemanda, se pueden conocer las diferentes potencias registradas para los periodos de integración de medida (cuartohorarios). El coste total a facturar por acceso a la red y por excesos de potencia será la función objetivo a minimizar (43) y teniendo como restricciones (44).

$$\min AC(P) = FP + FEP = \sum_{i=1}^6 t_{p,i} P_{c,i} + \sum_{i=1}^6 K_i K_m A_{e,i} \quad (43)$$

$$P_{c,i} \leq P_{c,i+1} \quad (44)$$

Las variables a determinar son las potencias a contratar en cada periodo. Una vez calculadas las potencias óptimas a contratar en cada periodo se procederá a realizar la contratación de potencia para el nuevo periodo de facturación anual.

Con esta metodología se calculan las potencias contratadas que minimizan el acceso a redes a partir de lecturas de demanda histórica. El usuario del laboratorio puede simular y experimentar con diferentes valores de potencias contratadas o experimentar sobre la influencia de variables como el coste etc. El método de optimización se basa en que la suma de los conceptos de término de potencia y el término de excesos de potencia sea mínima. La forma habitual de contratación utilizada por los consumidores consiste en la contratación, para cada periodo, de la potencia máxima prevista a consumir. Esta potencia máxima se evalúa en función de los equipos y sistemas consumidores de energía previstos a utilizar y difícilmente produce el menor coste posible.

Si durante el transcurso del periodo de facturación anual se producen modificaciones frente a la potencia contratada la solución ya no será óptima. En el caso de procesos con un consumo de energía estacionario y perfectamente conocido, tales como industrias con procesos bien definidos o edificios con un uso estandarizado este caso no se producirá. Habitualmente la demanda energética no es constante y depende de variables como la meteorología, el número de usuarios en las instalaciones, las necesidades productivas y otros muchos factores. En las situaciones en las que existe una demanda que puede ser modificada en un cierto porcentaje sin que exista peligro para las personas o los equipos es necesario contar con un mecanismo que permita conocer en tiempo real la previsión de demanda en el próximo periodo cuartohorario y actuar en consecuencia.

De forma complementaria al método de predicción de demanda se pueden estudiar modificaciones de horarios de funcionamiento que conlleven la minimización del coste de acceso. En la herramienta de ensayo es posible modificar la curva de carga y valorar qué sucedería si se desplazara temporalmente a otros horarios. Se realizaría una optimización adicional que consistiría en colocar el mayor número de horas de consumo energético en periodos horarios de menor coste. Esta estrategia es complementaria a la metodología de predicción de demanda y sólo será aplicable en

aquellos consumidores que puedan adaptar su consumo de forma flexible a lo largo de las horas del año (Kirschen, 2003).

5.2.4.3. Sistema de predicción de demanda

Los sistemas de medida eléctrica realizan las mediciones de demanda energética en cada instante de tiempo realizando la posterior integración en periodos de quince minutos que dan lugar a los registros cuartohorarios. Estos registros se utilizan para la facturación de los términos de potencia y también de energía.

Los sistemas de regulación de carga desconectan circuitos de consumo cuando la potencia demandada supera una cierta consigna. En ese caso se puede evitar superar una consigna de potencia previamente establecida. El equipo lleva asociado un coste de instalación y es adecuado para instalaciones sencillas donde la estrategia de desconexión de cargas puede ser útil para controlar la demanda. Son sistemas que se adecúan a las tarifas de 3 periodos dado el método de facturación del término de acceso. De esta forma se puede proceder a desconectar circuitos de consumo pero no existe capacidad de integración en otros sistemas. En los tarifas de seis periodos es necesario contar con un método que permita conocer y predecir un exceso de potencia previsto en función de la potencia contratada que previamente se habrá optimizado. La optimización de la potencia a contratar no garantizará ahorros si no existe un método que permita monitorear y controlar la potencia demandada ya que la optimización se lleva a cabo con registros históricos.

La predicción de demanda puede integrarse en un autómata para la conexión-desconexión de cargas, en el sistema SCADA del consumidor o en dispositivo de alarma y actuación por exceso de demanda, pero en este momento el sistema se aplica en la propia herramienta de ensayos con un fin docente e investigador. Es aplicable para sistemas de alarma y para actuadores y puede ser sucesivamente utilizado en diferentes sistemas. En las SGs y en los sistemas convencionales de red la potencia contratada se utiliza para realizar predicciones de generación y es fundamental su control para la estabilidad del sistema (Boisvert et al., 2002).

El modelo matemático de predicción de demanda es autoadaptativo, multiplataforma e integrable en cualquier plataforma de control. Para la realización de la predicción se utilizan únicamente las lecturas de los equipos de medida colocados en la instalación. El equipo de medida estará colocado en el punto frontera entre la instalación privada y la de la compañía distribuidora o antes del centro de transformación si la instalación cuenta con él. En el laboratorio este equipo de medida

es el propio sistema de telegestión del contador que se utiliza para acceder a las medidas eléctricas. En la Fig. 103 se muestra un diagrama de bloques de las partes constituyentes del sistema.

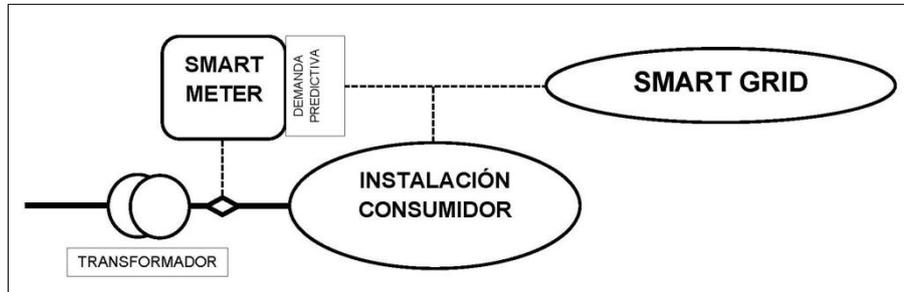


Fig. 103. Infraestructura para predicción de demanda

En una SG el sistema de tarificación de la energía va a ser variable en función del coste del término de la energía como consecuencia del ajuste de la curva de demanda y generación (Vojdani, 2008), (Hart, 2008), (Gerwen et al., 2008). A pesar de ese coste de la energía existirá un coste de acceso a las redes de distribución eléctrica. Los sistemas de SM estudiados en apartados exteriores y basados en sistemas de comunicación principalmente por PLC permiten enviar de forma sencilla la información y analizar previsiones de demanda en los periodos de integración para varios usuarios. Con esta infraestructura se pueden realizar centralizaciones de puntos de medida que faciliten el control del coste de los términos de acceso a redes para uno u varios usuarios.

El sistema de registro y medida energética realiza una medida de demanda que posteriormente integra en un periodo de quince minutos para generar las lecturas cuartohorarias que se utilizan para calcular el coste de la tarifa de acceso.

En caso de que se implemente el sistema en una instalación como parte de un SCADA éste tendrá capacidad de interacción mientras que en este caso se encuentra el modelo implantado en el laboratorio para la realización de ensayos. El sistema comienza a registrar la potencia demandada en el instante inicial $t=0$. Los sistemas de medida para facturación registran la demanda de potencia en tres subintervalos de cinco minutos. Cuando se ha alcanzado el minuto quince se realiza la integración para los tres subintervalos calculando la media y el valor se registra como la potencia cuartohoraria demandada. Utilizando este esquema en el instante inicial del periodo cuartohorario comienza a funcionar el predictor de demanda. En ese instante inicial se tendrán registrados los valores de los tres subintervalos de cinco minutos anteriores. En cinco minutos se tendrá registrado el nuevo subintervalo. El

método utiliza el registro del último subintervalo para aproximar el siguiente. Para predecir de forma correcta el posible incremento o decremento en el siguiente subintervalo se impone un coeficiente de incremento o decremento respecto del anterior. A medida que se comienzan a registrar más datos del subintervalo la predicción será la media de los dos subintervalos previos, de los valores ya registrados en el actual subintervalo y de la predicción corregida para el resto del subintervalo. Se presenta en la Tabla 84 el esquema temporal de los registros.

Tabla 84. Registro temporal de las medidas

Sub _n	...	Sub ₁	Sub ₀	Medido	Pred
Tiempo	...	Tiempo	Tiempo	Sum	Tiempo

A partir de los registros se calcula la predicción de demanda según (45), (46) y la (47).

$$Sub = \frac{\sum_{i=0}^{Tiempo-1} Pot_i}{Tiempo} \quad (45)$$

$$Medido = \frac{\sum_{i=0}^{Sum-1} Pot_i}{Sum} \quad (46)$$

$$Pred = \left(medido + \frac{\sum_{i=0}^{n-2} Pot_i}{n} \right) \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Tiempo - Sum}{Tiempo} \right) \right] C \right\} + \left[\frac{\sum_{i=0}^{n-2} Sub_i}{n-1} + \frac{Sub_0 - Sub_{n-i}}{2(n-1)} \right] \left[\left(\frac{Tiempo - Sum}{Tiempo} \right) \right] C \quad (47)$$

Para mejorar el comportamiento de la predicción la constante de incremento o decremento C se calcula en función de la derivada de la curva de demanda (d). Relacionando la derivada con la constante se puede calcular la constante que sigue la tendencia de la curva en el instante anterior.

Para un instante i y su siguiente, $i+1$ se tiene C según (48).

$$C = \frac{Pot_i}{Pot_{i+1}} \quad (48)$$

Si se supone que la derivada de la curva en el siguiente intervalo de un minuto a predecir es la misma que en el anterior intervalo de un minuto, (49) y (50).

$$d = \frac{Pot_i - Pot_{i-1}}{tm_i - tm_{i-1}} = \frac{Pot_{i+1} - Pot_i}{tm_{i+1} - tm_i} = \frac{\Delta Pot}{\Delta tm} \quad (49)$$

$$C = \frac{(tm_{i+1} - tm_i)d + Pot_i}{Pot_i} = \frac{d\Delta tm + Pot_i}{Pot_i} \quad (50)$$

Esta constante, (50), se actualiza para cada minuto en función de la derivada de la curva de demanda en el minuto anterior mejorando la predicción.

A partir de las metodologías propuestas se ha extraído la curva de demanda de una instalación, se ha calculado el ahorro potencia mediante la optimización de potencia y se ha simulado, para una curva de demanda cualquiera, el comportamiento del sistema de predicción al igual que un usuario del laboratorio podría realizar con cualquier instalación integrada en él.

- Optimización de la potencia

A partir de la curva de demanda registrada en formato cuartohorario para un año se ha optimizado la potencia a contratar para una modalidad de tarifa de seis periodos. La curva de demanda corresponde a una instalación con una tarifa de acceso tipo 6.x. Los registros cuartohorarios han sido extraídos del registro del sistema de tarificación eléctrica e integrados en el laboratorio por medio de un sistema GPRS. A partir de los registros y de los costes se calcula el coste de las tarifas de acceso para el año y posteriormente mediante la hoja de cálculo diseñada a tal fin se aplicó la rutina de optimización de potencias. En la Tabla 85 se muestran las potencias contratadas en la instalación en la actualidad y las potencias a contratar para cada uno de los periodos ($P_{c,i}$).

Tabla 85. Potencias contratadas actuales y optimizadas

	$P_{c,i}$					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Actual	540	540	540	540	540	540
Optimizada	587,9	594,8	596,7	605,6	607,5	609,4

La Tabla 86 detalla los costes de acceso con la potencia contratada en la actualidad, los costes con las potencias optimizadas a contratar y el ahorro obtenible.

Tabla 86. Costes optimizados

Coste	Costes acceso (€)	Costes exceso potencia (€)	Total (€)
Actual	24.314	17.639	41.953
Optimizado	26.846	8.986	35.832
Ahorros			6.121
% Ahorro			14,59%

Los resultados de ahorro se pueden observar de forma gráfica en la Fig. 104 y en la Fig. 105. Este método no supone ningún coste y permite obtener un ahorro significativo con su simple aplicación.

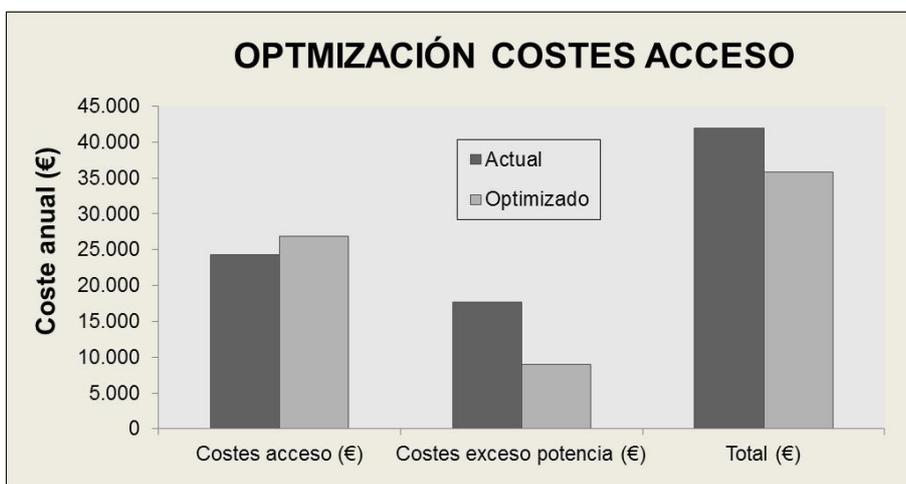


Fig. 104. Optimización de costes de acceso

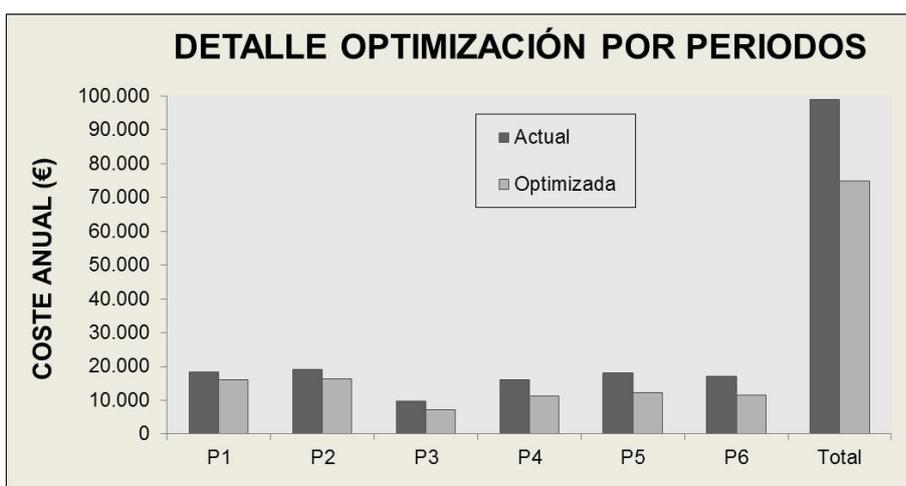


Fig. 105. Detalle de optimización por periodo tarifario

- Predicción de demanda

Según el método propuesto se ha simulado el comportamiento del método de predicción para una curva de demanda trabajando con la curva de demanda utilizada para la optimización. El modelo se ha implementando y se ha calculado la potencia predicha para cada subintervalo comparándose el valor real con la predicción de demanda. El método predice de forma eficaz las potencias para cada minuto y subintervalos de cinco minutos. Los resultados para los periodos de cinco minutos se integran en medidas cuartohorarias que determinan el coste del acceso a la red. En la Fig. 106 se muestran los resultados de la predicción de demanda frente a la curva real comprobando que los valores de ajuste son muy altos incluso en situaciones donde la potencia cambia de forma muy significativa a lo largo de un corto periodo de tiempo.

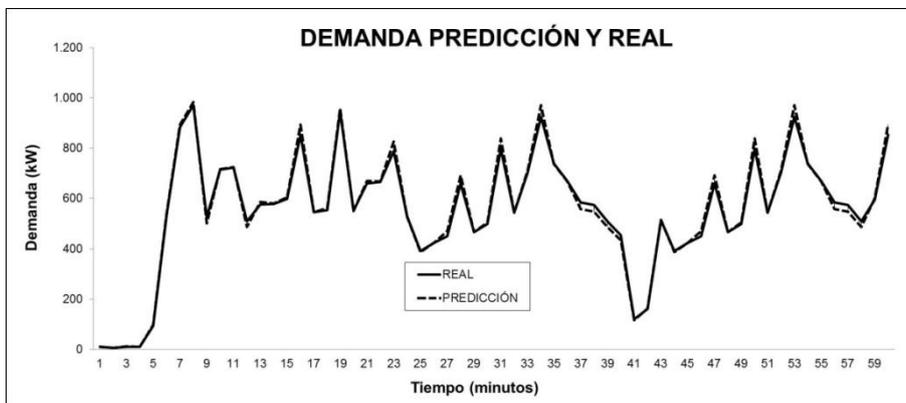


Fig. 106. Ajuste predicción y real

La Fig. 107 representa la curva de demanda que predice el modelo y en el eje secundario muestra el valor absoluto del error relativo entre la curva de demanda real y la predicción. En la Fig. 108 se muestra el error en kW así como el error relativo de la predicción. El valor medio del error tiene un valor de 0,030 que se detalla en el gráfico.

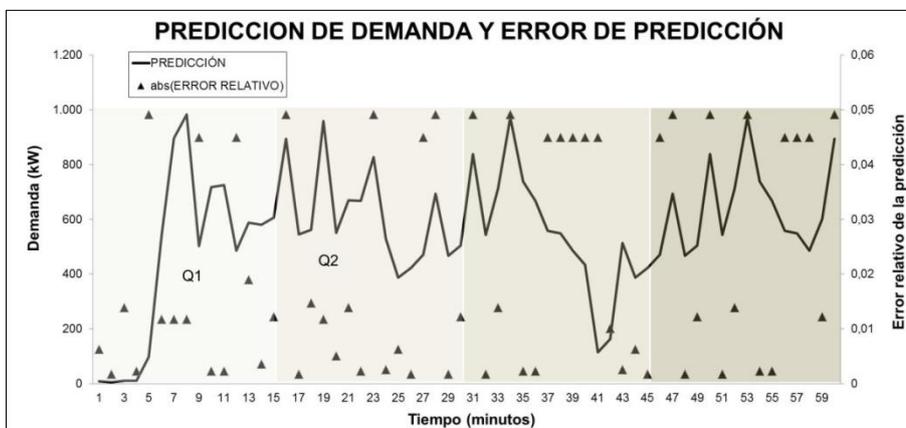


Fig. 107. Predicción de demanda y error de predicción

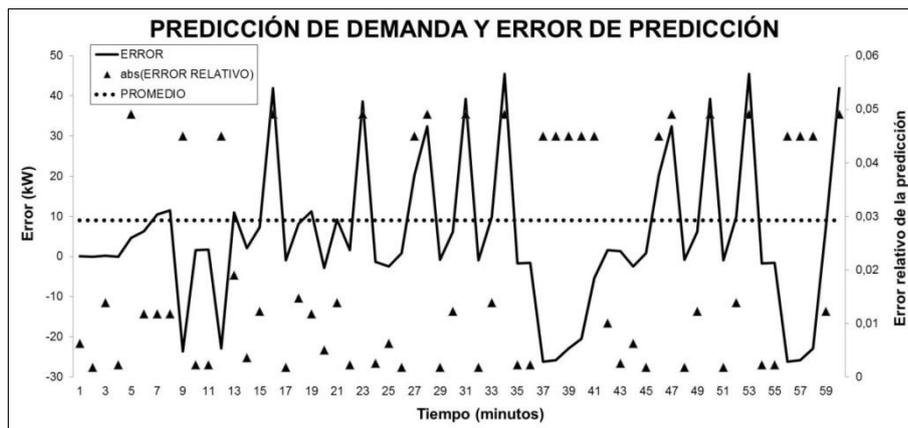


Fig. 108. Nivel de error en la predicción

El nivel de ajuste de la ventana de predicción cuartohoraria propuesta permite que el modelo de ajuste de potencia a contratar obtenga los ahorros económicos estimados y constituye además una excelente herramienta formativa para todo tipo de usuarios del laboratorio remoto.

5.2.4.4. Conclusiones del ensayo

Las tarifas de acceso a las redes de distribución eléctrica suponen un importante coste para los consumidores eléctricos. Este coste depende de la potencia de suministro contratada para cada periodo de facturación y es tarea del responsable en la materia optimizar la contratación para reducir el coste. En este ensayo se propone una metodología integral para la docencia y el ensayo de métodos de optimización de contratación que es además escalable, actualizable y adaptable a cualquier nivel docente, cumpliendo de este modo con los objetivos fijados.

5.3. EXPERIMENTOS EN EL ÁREA DE TECNOLOGÍAS HORIZONTALES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se presentan en este apartado los experimentos correspondientes al área de mejora de tecnologías horizontales de la eficiencia energética. Para cada uno de los experimentos propuestos se analiza la metodología y los resultados esperables del mismo. Las tecnologías horizontales no forman parte de un grupo claramente diferenciado y agrupado, como pueden ser los anteriormente estudiados pero tienen una gran importancia a nivel global en cuanto a la mejora de la eficiencia energética.

5.3.1. Sistemas de cogeneración

La cogeneración es una de las tecnologías horizontales que se muestran como fundamentales para la mejora de la eficiencia energética en diferentes áreas y sectores. Esta tecnología de generación combinada de calor y electricidad (o frío en caso de un sistema de trigeneración) es una de las piezas claves para mejorar la eficiencia energética y desarrollar las SGs e integrar eficazmente los sistemas de generación cerca de los puntos de consumo. El usuario accede en este experimento a los consumos eléctricos y térmicos y puede analizar cuál sería el efecto de la introducción de un sistema de cogeneración, además de poder dimensionar el mismo, obtener una sugerencia de tamaño y estudiar los costes de inversión, operación y mantenimiento así como todos los parámetros económicos y financieros asociados. En la Tabla 87 se resumen las principales características del experimento.

Tabla 87. Experimento sobre sistemas de cogeneración

Destinatarios	Alumnos universitarios Profesionales en instalaciones industriales o de edificación Público general en sesiones de formación y concienciación en la materia	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de contabilidad de consumos térmicos y eléctricos con sistema de monitoreo vía GRPS
	Futurible	Sistema de medida PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja cálculo realizada a medida con sistema de lectura en base de datos	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de un conocimiento claro las ventajas asociadas a los sistemas de cogeneración y los requisitos que se deben cumplir para obtener los niveles de rendimiento deseados</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para la toma de decisión sobre la idoneidad de optar por un sistema de cogeneración frente al suministro térmico y eléctrico convencional</p> <p><u>Concienciar</u> de la necesidad de integrar sistemas de cogeneración para lograr alcanzar los objetivos en materia de eficiencia energética</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Sistemas de cogeneración

Estudiantes universitarios y profesionales en activo

Tecnologías horizontales

Hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

El usuario accede a los consumos térmicos y eléctricos de la instalación monitoreada y a partir de ellos puede evaluar los beneficios derivados de la implantación de un sistema de cogeneración, evaluar la generación térmica y eléctrica y predimensionar los equipos. De este modo se adquiere un

conocimiento real y detallado de la tecnología y de las posibilidades que ofrece como sistema de mejora de la eficiencia energética. El sistema prediseña la instalación pero el usuario puede elegir su propia estrategia de dimensionado, proponer mejoras, analizar los efectos de la modificación de tamaños, ratios, tecnologías y valorar cómo varían los parámetros económicos y financieros. La incorporación de más instalaciones al laboratorio permitirá obtener una evaluación detallada para diferentes perfiles de carga, sector productivo, horarios de funcionamiento o cualquier otro factor que afecte al sistema. Todos los parámetros y sistemas incluidos son totalmente actualizables lo que

El usuario puede dimensionar una instalación de cogeneración a partir de las mediciones de consumo térmico y eléctrico de una instalación real.

permite una total escalabilidad del sistema y la posibilidad de actualizarlo según se requiera..

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza los registros del contador de combustible para uso térmico y de energía eléctrica, telegestionados mediante GPRS. La implantación de sistemas con lectura por PLC facilitará la introducción de nuevas plataformas de ensayo al laboratorio. Además es importante destacar que se pueden utilizar lecturas de cualquier sistema SCADA como alimentación de datos al sistema.

5.3.1.1. Interfaz de la herramienta y funcionamiento

El usuario del experimento tiene varias áreas de trabajo donde trabajar con los datos, analizar resultados e interactuar. En primer lugar es necesario configurar los parámetros técnicos y económicos que se utilizarán para el estudio, Fig. 109.

Datos y parámetros		
Poder calorífico del gas natural	kWh/m ³	9,80
Precio del gas natural	EUR/m ³	0,24
Precio de compra de energía eléctrica	EUR/kWh	
Precio de venta energía eléctrica	EUR/kWh	
Costes de mantenimiento	EUR/kWh	
Pago constante por venta	EUR/kWh	
Costes nominales inversión	EUR/kWhel	
Tipo de generación energética sustituida		
Factor de emisión CO ₂	kg/MWhel	
Factor de emisión NOx	kg/MWhel	2,90
Factor de emisión SO ₂	kg/MWhel	19,70
Factor de emisión CO	kg/MWhel	0,35
Factor de emisión Partículas	kg/MWhel	0,05
Fuente de calor reemplazada		
Factor de emisión CO ₂	kg/MWhth	
Factor de emisión NOx	kg/MWhth	
Factor de emisión SO ₂	kg/MWhth	
Factor de emisión CO	kg/MWhth	
Factor de emisión Partículas	kg/MWhth	
Sistema empleado en cogeneración		
Factor de emisión CO ₂	kg/MWhel	
Factor de emisión NOx	kg/MWhel	
Factor de emisión SO ₂	kg/MWhel	
Factor de emisión CO	kg/MWhel	
Factor de emisión Partículas	kg/MWhel	0,00

Fig. 109. Datos de configuración del estudio

Posteriormente el usuario accede a los datos recogidos en la instalación y selecciona las potencias de los equipos: además la propia herramienta recomienda una potencia optimizada del equipo, Fig. 110.

Laboratorio de viabilidad de cogeneración

Nombre

Descripción

Mes	Consumo de calor		Consumo de electricidad
	kWh _{Th}	GJ	kWh _{EI}
Enero	938582,40		134398
Febrero	656908,00		113240
Marzo	616126,00		122536
Abril	427887,60		104134
Mayo	188765,00		100297
Junio	101234,00		89008
Julio	69875,00		96650
Agosto	75134,00		99280
Septiembre	99345,00		100180
Octubre	198293,20		109466
Noviembre	626931,20		117310
Diciembre	1019673,20		116483

Potencia térmica requerida

Potencia térmica 412,00 kW

Diagnóstico de potencia térmica optimizada 197,16 kW

Evaluación de parámetros

Fig. 110. Parámetros de consumos y potencias

Para los parámetros introducidos y según el perfil de carga de la instalación se obtienen las curvas de carga para el caso del sistema optimizado, Fig. 111, y para el dimensionado personalizado, Fig. 112.

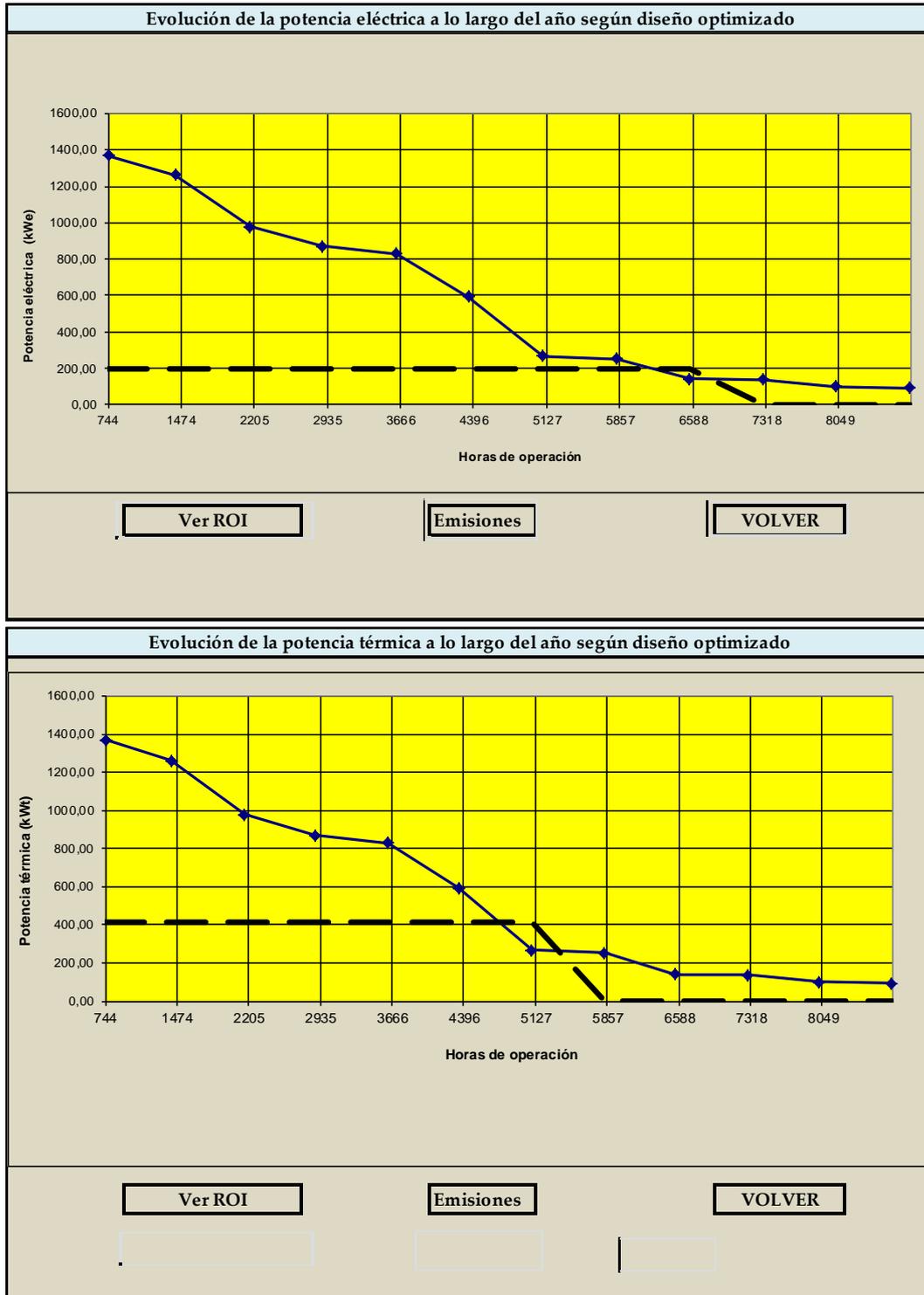


Fig. 111. Potencias para diseño optimizado

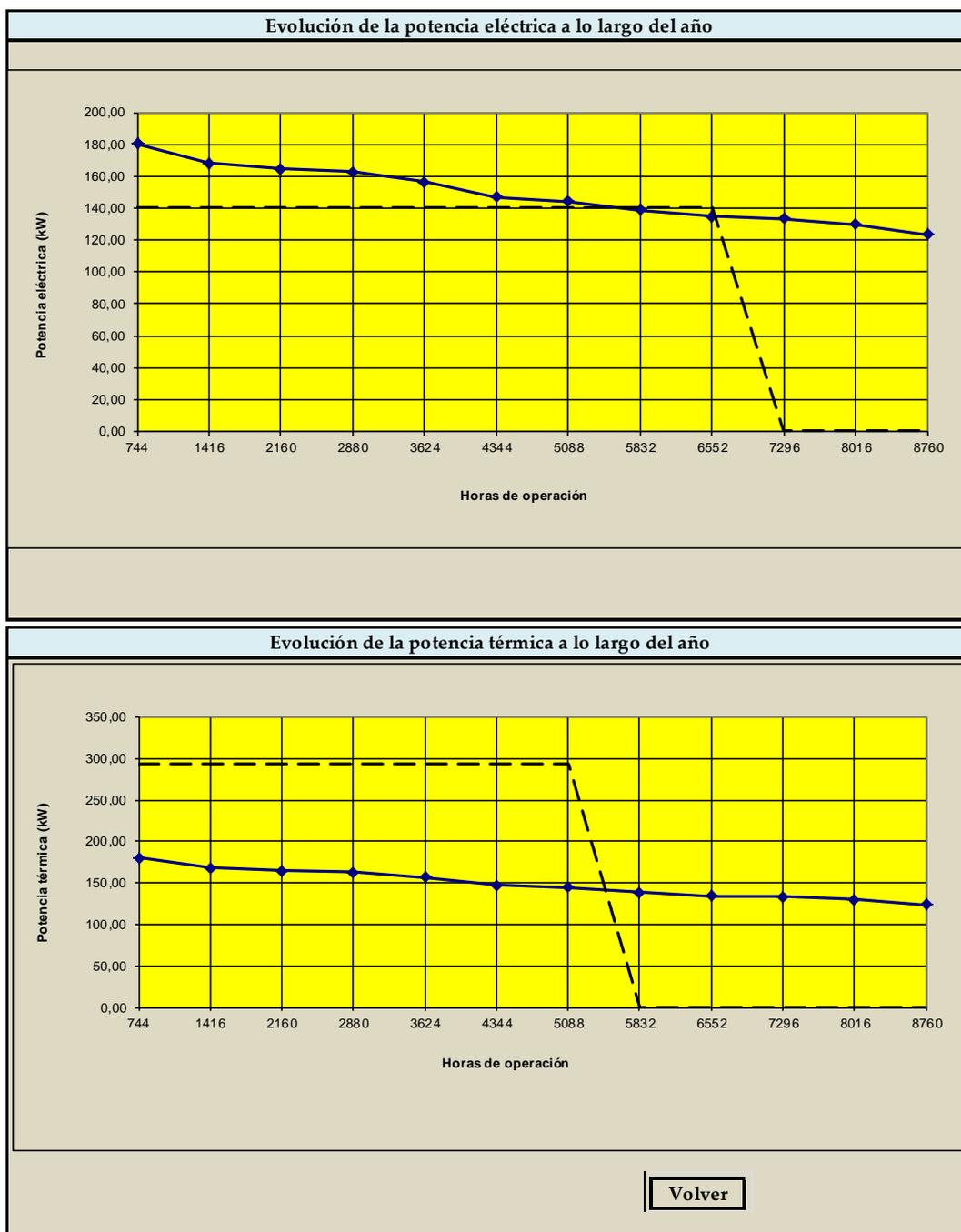


Fig. 112. Potencias para diseño personalizado

Se obtienen de forma automática la generación térmica para el caso optimizado y propuesto, Fig. 113, y la generación eléctrica para el caso optimizado y para el propuesto, Fig. 114. Esto permite al usuario o al docente proponer comparativas, analizar la influencia de diferentes parámetros y proponer medidas de mejora continua de la eficiencia energética.

Generación térmica optimizada								
Mes	Teplo (GJ)	Calor (kWh _e)	Calor demanda (kWh _e)	Horas uso	Salida eléctrica (kW _e)	Demanda eléctrica (kW _e)	Horas acumuladas	Potencia aproximada (kW)
Enero	0,00	938582,40	1019673,20	744,00	1261,54	1370,53	744,00	197,16
Febrero	0,00	656908,00	938582,40	672,00	977,54	1261,54	1416,00	197,16
Marzo	0,00	616126,00	656908,00	744,00	828,13	977,54	2160,00	197,16
Abril	0,00	427887,60	626931,20	720,00	594,29	870,74	2880,00	197,16
Mayo	0,00	188765,00	616126,00	744,00	253,72	828,13	3624,00	197,16
Junio	0,00	101234,00	427887,60	720,00	140,60	594,29	4344,00	197,16
Julio	0,00	69875,00	198293,20	744,00	93,92	266,52	5088,00	197,16
Agosto	0,00	75134,00	188765,00	744,00	100,99	253,72	5832,00	197,16
Septiembre	0,00	99345,00	101234,00	720,00	137,98	140,60	6552,00	197,16
Octubre	0,00	198293,20	99345,00	744,00	266,52	137,98	7296,00	0,00
Noviembre	0,00	626931,20	75134,00	720,00	870,74	100,99	8016,00	0,00
Diciembre	0,00	1019673,20	69875,00	744,00	1370,53	93,92	8760,00	0,00

Generación térmica								
Mes	Teplo (GJ)	Calor (kWh _e)	Calor demanda (kWh _e)	Horas uso	Salida eléctrica (kW _e)	Demanda eléctrica (kW _e)	Horas acumuladas	Potencia aproximada (kW)
Enero	0,00	938582,40	1019673,20	744,00	1261,54	1370,53	744,00	412,00
Febrero	0,00	656908,00	938582,40	672,00	977,54	1261,54	1416,00	412,00
Marzo	0,00	616126,00	656908,00	744,00	828,13	977,54	2160,00	412,00
Abril	0,00	427887,60	626931,20	720,00	594,29	870,74	2880,00	412,00
Mayo	0,00	188765,00	616126,00	744,00	253,72	828,13	3624,00	412,00
Junio	0,00	101234,00	427887,60	720,00	140,60	594,29	4344,00	412,00
Julio	0,00	69875,00	198293,20	744,00	93,92	266,52	5088,00	412,00
Agosto	0,00	75134,00	188765,00	744,00	100,99	253,72	5832,00	0,00
Septiembre	0,00	99345,00	101234,00	720,00	137,98	140,60	6552,00	0,00
Octubre	0,00	198293,20	99345,00	744,00	266,52	137,98	7296,00	0,00
Noviembre	0,00	626931,20	75134,00	720,00	870,74	100,99	8016,00	0,00
Diciembre	0,00	1019673,20	69875,00	744,00	1370,53	93,92	8760,00	0,00

Fig. 113. Generación térmica

Generación eléctrica optimizada							
Mes	Energía generada (kWh _e)	Energía demandada (kWh _e)	Operation hours	Potencia entregada (kW _e)	Potencia demanda (kW _e)	Horas de uso acumuladas	Potencia recomendada
Enero	134398	134398	744	180,64	180,64	744	140,83
Febrero	113240	122536	672	168,51	168,51	1416	140,83
Marzo	122536	117310	744	164,70	164,70	2160	140,83
Abril	104134	116483	720	144,63	162,93	2880	140,83
Mayo	100297	113240	744	134,81	156,56	3624	140,83
Junio	89008	109466	720	123,62	147,13	4344	140,83
Julio	96650	104134	744	129,91	144,63	5088	140,83
Agosto	99280	100297	744	133,44	139,14	5832	140,83
Septiembre	100180	100180	720	139,14	134,81	6552	140,83
Octubre	109466	99280	744	147,13	133,44	7296	0,00
Noviembre	117310	96650	720	162,93	129,91	8016	0,00
Diciembre	116483	89008	744	156,56	123,62	8760	0,00

Generación eléctrica						
Mes	Energía generada (kWh _e)	Energía demandada (kWh _e)	Potencia eléctrica entregada (kW _e)	Potencia demanda (kW _e)	Horas de uso acumuladas	Potencia recomendada
Enero	134398	134398	180,64	180,64	744	294,29
Febrero	113240	122536	168,51	168,51	1416	294,29
Marzo	122536	117310	164,70	164,70	2160	294,29
Abril	104134	116483	144,63	162,93	2880	294,29
Mayo	100297	113240	134,81	156,56	3624	294,29
Junio	89008	109466	123,62	147,13	4344	294,29
Julio	96650	104134	129,91	144,63	5088	294,29
Agosto	99280	100297	133,44	139,14	5832	0,00
Septiembre	100180	100180	139,14	134,81	6552	0,00
Octubre	109466	99280	147,13	133,44	7296	0,00
Noviembre	117310	96650	162,93	129,91	8016	0,00
Diciembre	116483	89008	156,56	123,62	8760	0,00

Fig. 114. Generación eléctrica

Las instalaciones de cogeneración tienen un componente de mejora ambiental muy importante y debido a la inversión inicial, normalmente elevada frente a otras tecnologías, es necesario estudiar financiera y económicamente la opción de implantación de la tecnología. El usuario obtiene una evaluación completa de estos parámetros lo que aporta capacidad docente y facilita la toma de decisión por parte de

futuros o presentes responsables de estos sistemas. En la Fig. 115 se muestra un ejemplo de los parámetros económicos evaluados y en la Fig. 116 de los ambientales.

Parámetros económicos optimizada			
Proyecto	0		
Modelo de Cogeneración propuesto			
Potencia térmica	kW _{th}		197,16
Potencia eléctrica	kW _{el}		140,83
Potencia salida	kW		337,99
Eficiencia	%		86,00
Horas al año de operación	h/año		6.552,00
Consumo específico gas natural	m ³ /h		40,10
Electricidad			
Demanda total electricidad	kWh/año		1.302.982,00
Electricidad generada cogeneración	kWh/año		922.706,87
Autoconsumo	kWh/año		922.706,87
Energía compra de red	kWh/año		380.275,13
Venta de electricidad	kWh/año		0,00
Calor			
Demanda total de calor	kWh		5.018.754,60
Autoconsumo térmico	kWh		1.291.789,62
Necesidad adicional de calor	kWh		3.726.964,98
Gas Natural			
Consumo de GN actual	m ³		526.969,23
Consumo de GN cogeneración	m ³		262.754,69
Consumo de GN generación adicional	m ³		391.331,32
Costes			
Gas Natural	EUR/m ³		0,24
Energía eléctrica compra	EUR/kWh		0,00
Costes fijos venta	EUR		0,00
Mantenimiento	EUR/kWh		0,00
Electricidad venta	EUR/kWh		0,00
Valoración económica			
Costes de inversión	EUR		0,00
Costes actuales operación	EUR/año		126.472,62
Costes de operación con cogeneración	EUR/año		156.980,64
Ingresos por venta	EUR/año		0,00
Ahorros en costes operación	EUR/año		-30.508,03
Periodo de retorno	Años		0,00

Fig. 115. Resultados parámetros económicos

Mejoras ambientales optimizada			
Proyecto estudio			Unidades
Planta energética actual			
Consumo eléctrico anual	w	1302,98	MWh _e por año
Consumo térmico anual	x	5018,75	MWh _{th} por año
Fuente de electricidad a sustituir			
Factor de emisiones CO ₂	A_c	0	kg/MW _e
Factor de emisiones NOx Emission Factor	A_n	2,9	kg/MW _e
Factor de emisiones SO ₂ Emission Factor	A_s	19,7	kg/MW _e
Factor de emisiones CO Emission Factor	A_m	0,35	kg/MW _e
Factor de emisiones Partículas	A_p	0,05	kg/MW _e
Fuente de calor sustituida			
Factor de emisiones CO ₂	B_c	0	kg/MW _{th}
Factor de emisiones NOx	B_n	0	kg/MW _{th}
Factor de emisiones SO ₂	B_s	0	kg/MW _{th}
Factor de emisiones CO	B_m	0	kg/MW _{th}
Factor de emisiones Partículas	B_p	0	kg/MW _{th}
Emisiones CO ₂ ($w \times A_c$) + ($x \times B_c$)	d	0,0	toneledas/año
Emisiones NOx ($w \times A_n$) + ($x \times B_n$)	e	3,8	toneledas/año
Emisiones SO ₂ ($w \times A_s$) + ($x \times B_s$)	f	25,7	toneledas/año
Emisiones CO ($w \times A_m$) + ($x \times B_m$)	g	0,5	toneledas/año
Emisiones partículas ($w \times A_p$) + ($x \times B_p$)	h	0,1	toneladas/año
Nueva planta a estudio			
Electricidad generada por la planta de cogeneración	y	922,71	MWh _e por año
Calor generado por la planta de cogeneración	z	1.291,79	MWh _{th} por año
Factor de emisiones CO ₂	C_c	0	kg/MW _e
Factor de emisiones NOx	C_n	0	kg/MW _e
Factor de emisiones SO ₂	C_s	0	kg/MW _e
Factor de emisiones CO	C_m	0	kg/MW _e
Factor de emisiones Partículas	C_p	0	kg/MW _e
Emisiones CO ₂ ($y \times C_c$)	l	0,0	toneledas/año
Emisiones NOx ($y \times C_n$)	j	0,0	toneledas/año
Emisiones SO ₂ ($y \times C_s$)	k	0,0	toneledas/año
Emisiones CO ($y \times C_m$)	l	0,0	toneledas/año
Emisiones partículas ($y \times C_p$)	m	0,0	toneladas/año
Resumen parámetros ambientales			
Reducción emisiones CO ₂ ($d - l$)	n	0,0	toneledas/año
Reducción emisiones NOx ($e - j$)	o	3,8	toneledas/año
Reducción emisiones SO ₂ ($f - k$)	p	25,7	toneledas/año
Reducción emisiones CO ($g - l$)	q	0,5	toneledas/año
Reducción emisiones partículas ($h - m$)	r	0,1	toneladas/año
% Reducción emisiones CO ₂ ($100 \times n/d$)			%
% Reducción emisiones NOx ($100 \times p/e$)		100	%
% Reducción emisiones SO ₂ ($100 \times q/f$)		100	%
% Reducción emisiones CO ($100 \times q/g$)		100	%
% Reducción emisiones partículas ($100 \times r/h$)		100	%

Fig. 116. Resultados parámetros ambientales

5.3.1.2. Conclusiones sobre el experimento

El modelo de experimento permite dotar al usuario de conocimientos sobre el dimensionado, optimización y de un sistema de cogeneración a partir de medidas reales de los consumos de calor y electricidad registrados. La inclusión de nuevas instalaciones permitirá ampliar el alcance de las conclusiones, mejorar la capacidad formativa y aumentar las tipologías a estudio. El desarrollo de los nuevos sistemas de medida con telegestión facilitará la inclusión de todo tipo de instalaciones consumidoras de energía al laboratorio así como monitorear instalaciones de cogeneración existentes.

5.3.2. Sistemas de acumulación de energía en Smart Grids

En una SG, como consecuencia del desarrollo de una infraestructura de los sistemas eléctricos de potencia bajo un nuevo concepto de diseño, el almacenamiento de energía en dispositivos como forma de reducción de picos de demanda es una de las posibilidades que permiten estabilizar la red además de reducir la potencia instalada. En estas instalaciones se pueden colocar de forma estratégica sistemas de acumulación basados en baterías (acumulación electroquímica) o en cualquier otra tecnología (inercial, hidrógeno...) con el objetivo de utilizar horas valle de consumos para la carga de los dispositivos y proceder a la descarga en horas en las que se produce un pico de demanda para de este modo reducir la generación necesaria en ese instante o para suplir la ausencia de fuentes de generación que no estén disponibles, principalmente en el caso de energías renovables que pueden no estar generando como consecuencia de la ausencia de radiación, viento o la fuente energética considerada. En este experimento se propone un desarrollo basado en MATLAB para la simulación de la carga de baterías acumuladoras en periodos valle y de descarga de las mismas en periodos de punta. El usuario accede a datos reales de una subestación eléctrica de transformación y a partir de ellos puede simular, estableciendo todas las consignas y parámetros del modelo, cuál sería el efecto de aplanamiento de la curva de carga con esta tecnología. Este ensayo es aplicable también a redes convencionales y permiten que el usuario adquiera conocimientos sobre la importancia del ajuste de las curvas de demanda y sobre cómo influyen determinados parámetros en las mismas. Esta aplicación, desarrollada bajo MATLAB, podría ser desarrollada con cualquier otra herramienta o adaptarse en función del tipo de usuario. Esto demuestra la flexibilidad del laboratorio y la capacidad real de proporcionar herramientas de formación ilimitadas y a la demanda. Las principales características del experimento se muestran en la Tabla 88.

Tabla 88. Experimento sobre acumulación de energía en Smart Grids

Destinatarios	Alumnos universitarios Profesionales en el ámbito eléctrico Público general en sesiones de formación y concienciación en la materia	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de telegestión de subestación eléctrica vía GPRS o radio.
	Futurible	Sistema de telegestión de subestación eléctrica vía PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Sistema en MATLAB con acceso a base de datos de registros de eléctricos en los transformadores	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de conocimiento sobre la importancia de obtener una curva de demanda lo más plana posible para facilitar la gestión del sistema y de las técnicas que existen para lograrlo</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para el análisis de la idoneidad del almacenamiento de energía y de las consecuencias que presenta así como de la necesidad de estos sistemas para asegurar la integración de las energías renovables de alta penetración</p> <p><u>Concienciar</u> de la necesidad de investigar y desarrollar nuevas tecnologías de acumulación energética que permitan dar solución a los problemas planteados</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Sistemas de acumulación de energía en Smart Grids

Estudiantes universitarios y
Doctorado

Tecnologías horizontales

MATLAB

Resumen de objetivos del experimento

El usuario accede a los datos registrados en una estación de transformación que se ha unido a la red de instalaciones del laboratorio. A partir de los registros de magnitudes eléctricas y de los registros de demanda el usuario

instalación. Con estos parámetros y resultados se obtiene un resultado gráfico de las curvas de carga que permiten, además de un análisis más profundo para usuarios avanzados, aportar valor docente para la impartición de

El usuario accede a una curva de carga real de una subestación de transformación y puede dimensionar sistemas de acumulación y analizar su comportamiento.

puede dimensionar un sistema de baterías para la acumulación de energía e introducir las consignas de nivel de intensidad o potencia para la que se producirá la carga y los niveles para los que se procederá a la descarga de las baterías. El usuario obtiene de este modo el balance energético, los tiempos de carga y descarga y la nueva curva de demanda de la

clases magistrales, charlas o cualquier otro requerimiento. El sistema permite incluir nuevas instalaciones de forma sencilla y posibilita una continua actualización de las herramientas y de las instalaciones monitoreadas.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza los registros de los medidores para operación y control de la subestación eléctrica, que son transmitidos a una base de datos mediante sistema GPRS o radio. En nuevas instalaciones que se incorporen al laboratorio remoto los desarrollos en materia de sistemas PLC permitirán incluir nuevas instalaciones de forma sencilla y ampliar la capacidad y alcance del laboratorio.

5.3.2.1. Funcionamiento de la herramienta

El usuario del experimento accede a la interfaz de MATLAB y carga, de forma automática, los registros de la estación de transformación durante el periodo estipulado, en este caso y en condiciones normales un periodo mensual ya que el objetivo es analizar cómo se comporta la curva de carga en diferentes situaciones de carga diarias. Tras la carga de los datos el usuario selecciona un día para la realización del ensayo y procede a la introducción de los parámetros de la estación transformadora. Estos datos, correspondientes a potencia de los transformadores y número de cada uno de ellos, pueden introducirse por el usuario con el objetivo de aumentar la capacidad docente del laboratorio, u optar por que ya estén registrados y el usuario sólo tenga que acceder a la herramienta. En la Fig. 117 se muestra la interfaz donde se solicitan los datos al usuario. Además de estos datos se solicitan otros como los niveles de intensidad (o potencia) a partir de los cuales se consignará el proceso de carga de la batería y el nivel de intensidad (o potencia) para el que se consignará la descarga.

```

Potencia de los transformadores grupo 1  450
P1 =
    450
Potencia de los transformadores grupo 2  560
P2 =
    560
Potencia de los transformadores grupo 3  700
P3 =
    700
Número de transformadores de grupo 1  2
N1 =
    2
Número de transformadores de grupo 2  3
N2 =
    3
Número de transformadores de grupo 3  1
N3 =
    1
La potencia unitaria del transformador 1 es 225
La potencia unitaria del transformador 2 es 186.6667
La potencia unitaria del transformador 3 es 700
La potencia total de transformación es 1710
El grado de carga del transformador 1 es 0.13158
El grado de carga del transformador 2 es 0.10916
El grado de carga del transformador 3 es 0.40936
Introduzca el valor límite superior en Amperios  230
limite =
    230
Introduzca el valor límite inferior en Amperios
limite_inf =
    500
Introduzca el valor de tensión en Voltios  230
voltaje =
    230
La energía necesaria en cresta en Ah es de  35567.6795
La energía acumulada en valle en Ah vale  85.5018
La reducción del pico es del 100%
    
```

Fig. 117. Parámetros de introducción de datos

El código es transparente por lo que puede ser modificado por el usuario o el docente o utilizarse para impartir una clase magistral en la que se aborden cuestiones de programación en MATLAB, mejorar el código o utilizarlo con fines investigadores. Tras introducir todos los parámetros de operación del sistema la herramienta calcula, de forma automática, la energía acumulada en las baterías, la energía descargada, los tiempos de carga y descarga y emite mensajes en el caso de que no se haya podido alcanzar el nivel de carga. Se observa además cómo quedaría la curva de carga con la actuación de la carga y descarga de las baterías y los niveles de consigna, Fig. 118.

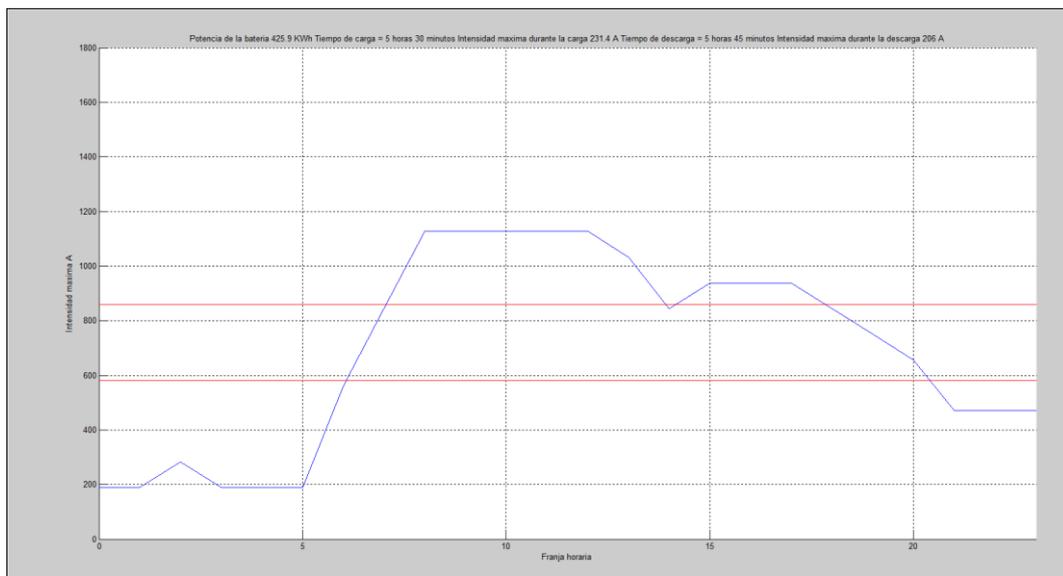


Fig. 118. Resultados de carga y descarga de las baterías

5.3.2.2. Conclusiones sobre el experimento

El modelo de experimento es de gran utilidad para la realización de labores docentes o para la formación y realización de ensayos por parte de profesionales en el ámbito de los sistemas eléctricos de potencia. El desarrollo de las SGs en los próximos años hará que este tipo de estudios y tecnologías tengan un valor creciente. La posibilidad de incluir cualquier lectura de centros de transformación hace prácticamente ilimitadas las posibilidades de utilización y abre el abanico a la comparación y ensayo en instalaciones residenciales, industriales, terciarias o de distribución y permite comparar los valores obtenidos en las mismas y extraer conclusiones.

5.3.3. Reducción de pérdidas en transformadores en paralelo

Los sistemas de transformadores eléctricos forman parte de todas las redes e infraestructuras eléctricas tanto a nivel de distribución como en las instalaciones para el uso final. En las instalaciones para el uso final los transformadores se dimensionan para suplir la máxima demanda posible, pero esta no se alcanza en un gran porcentaje de las horas de uso. Además se ha de prever una potencia de reserva para el caso de futuras ampliaciones en la instalación, lo que conlleva a que las instalaciones estén habitualmente sobredimensionadas. En este experimento se introducen los datos de lecturas de magnitudes eléctricas de sistemas de transformación en paralelo y se analizan cuáles son las pérdidas debidas a los dos transformadores y cómo se modificarían estas en el caso de que los dos transformadores no estuvieran conectados de forma simultánea. La herramienta permite cuantificar y analizar cuáles son las pérdidas en los transformadores, cómo varían éstas en función de las clases de eficiencia de los transformadores y proponer el modo de conexión más adecuado. De la concepción del propio experimento se ha derivado una patente de un método, llamado Parallel Losses Optimization (PLO) que permite adecuar la conexión de los transformadores a la configuración idónea para cada curva de carga y que conlleva las menores pérdidas en el sistema. Es posible incorporar todo tipo de instalaciones al laboratorio para ampliar las capacidades docentes con el simple hecho de incluir las lecturas de los equipos de lectura de los transformadores. En la Tabla 89 se muestra el resumen de las características del experimento.

Tabla 89. Reducción de pérdidas en transformadores en paralelo

Destinatarios	Alumnos universitarios, Doctorado e investigación Profesionales en el ámbito eléctrico Público general en sesiones de formación y concienciación en la materia	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de telegestión de subestaciones eléctricas y centros de transformación
	Futurible	Sistema de telegestión de subestaciones eléctricas y centros de transformación vía PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad
Herramienta de análisis propuesta	Hoja de cálculo para análisis y optimización	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de conocimiento sobre las pérdidas de los transformadores, la importancia que tienen en el sistema eléctrico de potencia y cómo se pueden reducir</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para el análisis de las configuraciones que en los centros de transformación proporcionan las menores pérdidas posibles y reducen el coste de operación</p> <p><u>Concienciar</u> de la necesidad de adecuar las potencias de transformación a las realmente requeridas y promover el dimensionado de futuras instalaciones bajo un criterio de eficiencia energética</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Sistemas de optimización de transformadores en paralelo

Estudiantes universitarios y
Doctorado

Tecnologías horizontales

Hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

El usuario accede a los registros de demanda eléctrica de un sistema de transformadores en paralelo y en la plataforma de ensayos puede analizar cuáles son las pérdidas de los transformadores en función del tipo de conexión. El usuario puede analizar cómo influye la clase de eficiencia de los

instalaciones permite ampliar la tipología de instalaciones monitoreadas y comparar tipos de uso final tales como residencial, industrial, terciario o sistemas de distribución secundaria. Además del propio experimento y de los ensayos realizados se ha dado lugar a una

El usuario accede a las lecturas de demanda de potencia de un sistema de transformadores en paralelo y analizar las pérdidas que se producen y optimizar la conexión.

transformadores en las pérdidas y cómo varían estas en función del grado de carga. A partir de estos cálculos y de los registros se puede establecer cuál es la forma de conexión (cuál de los transformadores conectar o si es necesario conectar los dos) que proporciona las menores pérdidas posibles. De este modo el usuario puede proponer un dimensionado óptimo de los transformadores y prever las pérdidas. La incorporación de futuras

patente que permite implementar de forma automática un sistema de optimización en la conexión de los transformadores que permite reducir las pérdidas al mínimo técnico posible. Este sistema es además totalmente adaptable a cualquier tipo de transformador.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza los registros de los sistemas de medida eléctrica en los centros de transformación, que son recogidos mediante tecnología GPRS. Es posible incorporar cualquier lectura recogida bajo cualquier protocolo de comunicación de datos y colocado en cualquier tipo de instalación independientemente de sus características. Los sistemas de lectura PLC permitirán incorporar un elevado número de instalaciones al laboratorio de un modo sencillo, escalable y transparente.

5.3.3.1. Funcionamiento de la herramienta

Los sistemas de transformación instalados en edificios e industrias conectados a redes de distribución deben garantizar la continuidad de suministro en el punto de consumo del modo más eficiente posible. Las diferentes normativas internacionales exigen esta garantía de suministro mediante la instalación de dos o más transformadores de potencia en paralelo que permitan realizar operaciones de mantenimiento en uno de ellos sin cortar el suministro y garantizar la continuidad de funcionamiento en caso de avería. Además es necesario dotar a los centros de transformación de un cierto grado de reserva de potencia para prever futuras ampliaciones. A pesar de que la eficiencia energética de los transformadores de distribución ha aumentado y se han reducido las pérdidas totales, que se conforman de las pérdidas en carga y en vacío, éstas representan todavía un valor muy importante en los sistemas eléctricos.

Los sistemas de transformación suponen un importante porcentaje en las pérdidas del conjunto de la distribución eléctrica tanto en Europa como Estados Unidos (Kennedy, 1998). Pese a que los fabricantes de transformadores (Hasegawa and Azuma, 2008) han reducido de forma sistemática las pérdidas introduciendo nuevos materiales y técnicas de fabricación (Olivares et al., 2003), (Hasegawa and Azuma, 2008), (Georgilakis, 2009), (Olivares-Galván et al., 2009) existe un importante número de equipos ya instalados que se encuentran dentro de su vida útil y presentan valores de eficiencia energética mucho menores a las que tienen los sistemas fabricados hoy en día. Las técnicas de fabricación modernas de transformadores permiten obtener sistemas con pérdidas muy bajas, lo que implica la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas (Hasegawa and Azuma, 2008), (Georgilakis, 2009). Los sistemas de transformación con bajas pérdidas permiten reducir la potencia instantánea demandada por la instalación y por lo tanto reducen la potencia de generación asociada. En el caso del suministro basado en combustibles fósiles esto implica una reducción de las toneladas de CO₂ equivalente y en el caso de sistemas en redes de generación distribuida con generación renovable conlleva una reducción de la potencia instalada y facilita una mejor previsión de la demanda y control del sistema.

La inversión necesaria en los sistemas de distribución de potencia y el coste de generación eléctrica siguen en aumento, por lo que las tecnologías que permitan reducir el consumo energético están muy demandadas hoy en día. Las empresas suministradoras de energía eléctrica y el consumidor final en instalaciones privadas se

ven directamente beneficiados por la implementación de sistemas de reducción de pérdidas en transformadores de distribución. Los sistemas de transformación se encuentran en funcionamiento obligatorio siempre que exista demanda, por lo que los ahorros energéticos asociados a nuevas tecnologías o sistemas de transformación alcanzan valores elevados. Los transformadores instalados funcionando en vacío tienen unas pérdidas asociadas por lo que existe consumo energético sin demanda en el secundario. En una fase de diseño de una nueva instalación la decisión entre la utilización de un sistema de alta eficiencia y uno de mayores pérdidas está directamente relacionada con el ahorro económico esperable durante la fase de utilización del equipo. El análisis total owning cost (TOC) se utiliza como herramienta de decisión ya que contempla la suma del coste del propio transformador y los costes derivados de las pérdidas en el equipo durante su vida útil (Nochumson, 2002). Existen ejemplos de la aplicación de este método para la evaluación de instalaciones (Rasmusson, 1984, (Bins et al., 1986) en función del tipo de uso (ANSI/IEEE, 1992), (Nickel et al., 1981), (Nickel et al., 1981b) y particularizando para sistemas industriales y comerciales (Merritt and Chaitkin, 2003), (Georgilakis, 2007). El cálculo TOC evalúa las pérdidas del transformador en carga y en vacío para determinar qué transformador es el más adecuado en función del coste de las pérdidas durante la vida útil del equipo. Es una herramienta idónea para la toma de decisiones en fase de diseño (Georgilakis, 2007), (Baranowski and Hopkinson, 1992), fabricación y compra de equipos. Este ensayo permite analizar las pérdidas de los sistemas de transformación tanto en fase de diseño como en equipos reales cuyas medidas son registradas y posteriormente utilizadas en el laboratorio. Además se ha derivado y propuesto un nuevo método llamado PLO orientado a la minimización de pérdidas en el sistema durante la explotación del mismo.

En el caso de instalaciones ya existentes que poseen transformadores en operación es necesario plantear técnicas que permitan reducir las pérdidas energéticas asociadas a los equipos sin tener que sustituir éstos. La sustitución de un equipo que no se encuentre dañado es justificable siempre que al realizar un análisis TOC se compruebe la rentabilidad de desechar el sistema existente y la instalación de un nuevo transformador. Esta sustitución no es económicamente rentable en casi ningún caso por lo que es necesario plantear alternativas de ahorro y crear herramientas que permitan impartir acciones docentes en este campo. En el caso de nuevas instalaciones la elección de transformadores de mayor clase de eficiencia puede ser rentable cuando la reducción de pérdidas energéticas justifique el sobre coste frente a un transformador convencional. Los transformadores existentes han de ser integrados además en los nuevos sistemas de generación distribuida por lo que la propuesta de métodos de

reducción de pérdidas facilitará esta tarea. En los centros de transformación de instalaciones residenciales, industriales y comerciales se mantienen los transformadores conectados de forma continua sea cual sea la demanda de potencia instantánea. Son muchas las instalaciones que presentan estacionalidad horaria, diaria y mensual de uso, por lo que la potencia de transformación instalada no siempre se ajusta a la óptima. Además, por motivos de previsión de ampliación de la instalación, es habitual sobredimensionar los sistemas de transformación un mínimo de un 20%. El método estudiado y propuesto permite analizar y adaptar el sistema de funcionamiento del centro de transformación para lograr las menores pérdidas posibles para la potencia demandada. El método PLO propuesto permite reducir las pérdidas en todo tipo de instalaciones de transformadores en paralelo siendo aplicable para sistemas existentes o nuevos permitiendo aumentar los ahorros energéticos sea cual sea la clase de eficiencia del transformador.

La herramienta y el ensayo propuesto permiten analizar las pérdidas y la reducción de las mismas asociada a la implementación del método. Se ha analizado un amplio rango de combinaciones de transformadores con potencias comprendidas entre los 100 kVA y los 1.600 kVA para dar lugar a instalaciones de potencias entre 200 kVA y 3.200 kVA. Para cada potencia de transformación se analizan tres equipos comerciales con clasificación de altas, medias y bajas pérdidas. Se han caracterizado los transformadores con las pérdidas en vacío y los parámetros característicos de pérdidas en carga y se ha estudiado su comportamiento en paralelo para todos los puntos de funcionamiento. En estos puntos de funcionamiento se han calculado y caracterizado las pérdidas totales en el centro de transformación para uno, dos o ambos transformadores conectados. Para cada potencia de transformación se ha establecido la potencia Paralell Losses Optimization (PLO), que es el punto crítico a partir del cual es más rentable tener conectado uno u otro transformador o ambos en paralelo. Para este ensayo se han monitoreado las curvas de demanda de cuatro instalaciones con potencias instaladas de 650 kVA, 1.260 kVA, 1.630 kVA y 2.600 kVA con el objeto de determinar experimentalmente los ahorros potenciales. Este es un ejemplo de un experimento a realizar si bien se puede incorporar cualquier lectura de un sistema de transformadores en paralelo. Para aumentar las capacidades docentes y a modo de complemento se han consultado varias empresas del sector de mantenimiento de centros de transformación en España con el objeto de conocer el protocolo de actuación en los sistemas y calcular los ahorros potenciales al operar el centro de transformación según el método propuesto. Se demuestra además de este modo el elevado potencial que posee la herramienta no sólo para labores de docencia sino también de investigación.

- Pérdidas energéticas en los transformadores

Los transformadores son máquinas eléctricas estáticas con un elevado rendimiento, que alcanza valores superiores al 95%. El sistema está basado en el uso de dos o más arrollamientos alrededor de un núcleo ferromagnético. Se produce un cambio de un nivel de tensión a otro sin que exista un cambio en la frecuencia. Los transformadores son utilizados masivamente en los sistemas de distribución eléctrica y desempeñan funciones básicas ya que actúan como elementos de aislamiento y transformadores de nivel de tensión. La utilización de materiales ferromagnéticos y cobre hace que su coste sea elevado y son además máquinas pesadas y voluminosas. Para reducir el tamaño de las máquinas hay que tener en cuenta que la densidad de potencia en el transformador es inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que los sistemas que trabajen con elevadas frecuencias permiten utilizar de forma más eficiente el núcleo magnético y reducir por lo tanto el tamaño del equipo (Kang et al., 1999). En la actualidad se están desarrollando múltiples investigaciones en sistemas de transformación basados en electrónica de potencia. Estos sistemas, llamados *distribution electronic power transformer (DEPT)* permiten enfrentar de forma más eficaz los problemas de calidad de la energía en los sistemas de distribución y reducir las pérdidas (McMurray, 1970), (Venkataramanan et al., 1996), (Brooks, 1980), (EPRI, 1995). Los sistemas DEPT se encuentran en fase de desarrollo pero no se han introducido en los sistemas de distribución eléctrica (Harada et al., 1996), (Manjrekar et al., 2000), (Ronan et al., 2002), (Marchesoni et al., 2002).

Según estudios llevados a cabo en Estados Unidos las pérdidas de los sistemas de transformación suponen el 40% de las pérdidas en instalaciones públicas no generadoras y el 16% en las instalaciones privadas (Kennedy, 1998). En la Unión Europea el Instituto Europeo del Cobre (IEC) calcula que la sustitución de los transformadores de potencia instalados en Europa por otros un 40% más eficientes permitiría reducir el consumo energético en más de 22 TWh lo que conllevaría una disminución de GEI de más de 9 millones de toneladas de CO₂ equivalentes (Targosz, 2005). Debido al elevado coste de los equipos esta solución no puede llevarse a cabo de forma sistematizada por lo que se plantea un método de reducción de pérdidas en sistemas de transformación independientemente de su eficiencia (Zhang and Wei, 2010), (Chen, 2010), (Vad Mathiesen et al., 2011), (Irrek, 2008). En junio del año 2011 la International Energy Agency (IEA) ha hecho público que durante el año 2010, y a pesar de la crisis económica mundial, se ha alcanzado el record de emisiones de gases de efecto invernadero (IEA, 2011). Esto implica que las consecuencias del cambio climático son cada vez más inevitables y deben establecerse todas las estrategias

posibles para reducir estos niveles de emisión. Se propone una metodología de bajo coste aplicable a sistemas de transformación en paralelo y estudia el potencial concreto en varias situaciones reales.

Los transformadores tienen asociadas pérdidas que se clasifican en pérdidas en vacío y pérdidas en carga. En un transformador conectado a un sistema de distribución eléctrica existen unas pérdidas siempre que el transformador está sometido a un voltaje. Estas pérdidas no dependen de que el transformador esté o no sometido a una carga, por lo que se denominan pérdidas en vacío. Su valor es constante y consta de cinco componentes diferenciadas que se muestran en la Tabla 90.

Tabla 90. Tipos de pérdidas en transformadores

Componente	Contribución porcentual
Pérdidas por histéresis en el núcleo y Corrientes de Eddy	=99%
Pérdidas en el dieléctrico	<0,50%≈0
Pérdidas en accesorios metálicos y componentes	<0,35%≈0
Pérdidas tipo I^2R asociadas a funcionamiento en vacío	<0,15%≈0

Debido al que las pérdidas por histéresis y las de Eddy suponen el 99% de las pérdidas totales suelen asumirse como las únicas que se tienen en cuenta, mientras que las demás se suponen aproximadamente igual a cero.

A medida que varía la carga en el transformador se modifican las pérdidas en el equipo ya que éstas son debidas a las pérdidas de calor en los conductores originadas por la corriente de carga y por las corrientes de Eddy. Estas pérdidas varían con la temperatura al variar las características de conductividad de los materiales y el valor más importante es el debido a las pérdidas en el cobre caracterizadas por I^2R .

- Pérdidas en varios transformadores en paralelo

Para garantizar la continuidad de suministro, en previsión de ampliaciones, para facilitar el mantenimiento y por cuestiones de normativa son muy habituales las instalaciones formadas por dos transformadores en paralelo. En este caso se pueden presentar tres casos de operación que se detallan a continuación:

1. La potencia de funcionamiento demandada es menor a la potencia nominal del primer transformador
2. La potencia de funcionamiento demandada es menor a la potencia nominal del segundo transformador

3. La potencia de funcionamiento demandada es mayor a la potencia nominal de cualquiera de los dos transformadores

Estas situaciones de carga se presentarán de forma habitual en una misma instalación en función de la curva de carga de la instalación pero los transformadores se mantienen conectados de forma idéntica independientemente de la demanda.

Teniendo en cuenta los tipos de pérdidas expuestos anteriormente, en un caso de un sistema formado por un transformador con una potencia nominal S_N caracterizado por sus pérdidas en vacío (L_0) y su impedancia porcentual de cortocircuito (U_{SC}) las pérdidas totales cuando está sometido a una potencia de carga aparente S_L se calcularán según (51).

$$L_T = L_0 + \left(\frac{S_L}{S_N}\right)^2 U_{SC} \quad (51)$$

En el caso de dos transformadores conectados en paralelo con las características de ensayo de impedancia de cortocircuito porcentual, U_{SC} , la carga se repartirá entre ambos transformadores de modo que cuanto menor sea el valor de U_{SC} mayores serán las corrientes de cortocircuito. La potencia de carga total S_L se repartirá entre los transformadores 1 y 2 de acuerdo a (52) y (53).

$$S_{L,1} = \frac{S_L S_{N,1} U_{SC,T}}{(S_{N,1} + S_{N,2}) U_{SC,1}} \quad (52)$$

$$S_{L,2} = \frac{S_L S_{N,2} U_{SC,T}}{(S_{N,1} + S_{N,2}) U_{SC,2}} \quad (53)$$

El valor $U_{SC,T}$ representa la impedancia de cortocircuito medio que se determina según (54).

$$U_{SC,T} = \frac{S_{N,1} + S_{N,2}}{\frac{S_{N,1}}{U_{SC,1}} + \frac{S_{N,2}}{U_{SC,2}}} \quad (54)$$

Según estos cálculos cada transformador podrá caracterizarse por su distribución porcentual de carga PL_1 , PL_2 tal y como se muestra en (55) y en (56).

$$PL_1 = \frac{S_{L,1}}{S_{N,1}} \quad (55)$$

$$PL_2 = \frac{S_{L,2}}{S_{N,2}} \quad (56)$$

Las pérdidas en el sistema funcionando en paralelo se calcularán según (57).

$$L_{T,par} = L_{0,1} + \left(\frac{S_{L,1}}{S_{N,1}}\right)^2 U_{SC,1} + L_{0,2} + \left(\frac{S_{L,2}}{S_{N,2}}\right)^2 U_{SC,2} \quad (57)$$

5.3.3.2. Metodología de cálculo y del ensayo

En el ejemplo llevado a cabo en el experimento se lleva a cabo un estudio de pérdidas en instalaciones con transformadores en paralelo. Se han estudiado combinaciones de transformadores en paralelo con potencias de 100 a 1.600 kVA para dar lugar a potencias conjuntas que van de 200 kVA a 3.200 kVA, un rango que potencia que abarca sistemas comerciales, terciarios e industriales. Cada potencia de transformación se ha evaluado para transformadores de las tres clases de eficiencia determinadas según la norma EN 50464-1: high, medium and low losses (CENELEC, 2007).

Para cada potencia de transformación se computan en la herramienta del laboratorio las pérdidas para cada nivel de carga y se determina el parámetro Paralell Losses Optimization (PLO) que representa el punto de ruptura en el que se minimizan las pérdidas en los equipos en paralelo optando por la conexión de uno de los dos transformadores o de ambos.

Se han monitoreado doce instalaciones durante un año y se han obtenido las curvas de demanda medias para cada caso. Se ha calculado la reducción de pérdidas en los transformadores aplicando el método propuesto en el laboratorio y se han calculado los ahorros energéticos en un periodo anual, validando el modelo.

En último lugar se ha realizado una encuesta a varias empresas de mantenimiento de sistemas eléctricos de potencia sobre 1.000 puntos de consumo con potencias iguales a las estudiadas con el objeto de determinar el grado de mantenimiento habitual en los centros de transformación, evidenciando que el mantenimiento no es habitualmente riguroso y que las pérdidas en los transformadores se tienden a obviar y asumir como una parte no mejorable del sistema de potencia.

Para la realización del estudio se han combinado transformadores de las características y potencias expuestas en la Tabla 91 para dar lugar a 13 potencias de instalación con 3 grados de eficiencia energética, por lo que se han generado un total de 39 casos de estudio,

Tabla 92. Las potencias analizadas corresponden a casos típicos de potencias instaladas en un amplio rango de aplicaciones. Todos los datos de transformadores corresponden a equipos reales.

Tabla 91. Combinación de transformadores a ensayo

S_N (kVA)	Clasificación EN50464-1	U_{sc} (%)	P_0 (W)
100	E ₀ D _k -Alto	4	320
160	E ₀ D _k -Alto	4	460
250	E ₀ D _k -Alto	4	650
400	E ₀ D _k -Alto	4	930
630	E ₀ D _k -Alto	4	1.200
1.000	E ₀ D _k -Alto	5	1.700
1.600	E ₀ D _k -Alto	6	2.600
100	D ₀ C _k -Medio	4	260
160	D ₀ C _k -Medio	4	375
250	D ₀ C _k -Medio	4	530
400	D ₀ C _k -Medio	4	750
630	D ₀ C _k -Medio	4	940
1.000	D ₀ C _k -Medio	5	1.400
1.600	D ₀ C _k -Medio	6	2.200
100	C ₀ B _k -Bajo	4	210
160	C ₀ B _k -Bajo	4	300
250	C ₀ B _k -Bajo	4	425
400	C ₀ B _k -Bajo	4	610
630	C ₀ B _k -Bajo	4	800
1.000	C ₀ B _k -Bajo	5	1.100
1.600	C ₀ B _k -Bajo	6	1.700

Tabla 92. Instalaciones estudiadas

S_N (kVA)	Transformadores en paralelo	Clasificación EN50464-1
200	2x100	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
260	100+160	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
320	2x160	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
410	160+250	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
500	2x250	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
650	250+400	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
800	2x400	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
1.030	400+630	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
1.260	2x630	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
1.630	630+1000	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
2.000	2x1000	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
2.600	1000+1600	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
3.200	2x1600	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k

En la herramienta se computan las características de pérdidas de cada uno de los transformadores y de ambos funcionando en paralelo para cada punto de la curva de carga, correspondiente a la suma de las potencias nominales, (58)

$$S_N = S_{N,1} + S_{N,2} \quad (58)$$

En función de la carga y utilizando el método propuesto se computan todos los casos determinando cuál es el punto PLO. Se ha denominado la potencia PLO a aquella a partir de la cual las pérdidas en el sistema hacen recomendable la conexión de ambos transformadores aunque no se haya alcanzado el 100% de carga en el primero ($S_{N,1}$). Esta estrategia permite minimizar las pérdidas al establecer una estrategia de conexión basada en las mínimas pérdidas de operación y no en las potencias nominales de los equipos.

En el caso de la encuesta sobre mantenimiento en instalaciones se han consultado instalaciones de transformación con las potencias recogidas en la Tabla 93 y se han clasificado según su tipo de nivel de eficiencia energética. Las operaciones de mantenimiento se han clasificado en cuatro tipos fundamentales:

Mantenimiento anual del aceite: consiste en la verificación de los niveles de aceite y parámetros físico-químicos.

Verificación visual anual: verificación anual de la ausencia de defectos en los transformadores incluyendo inspección visual y análisis del aceite.

Comprobación de defectos a tierra: control de la ausencia de corrientes de fuga peligrosas en el centro de transformación.

Mantenimiento avanzado: mantenimiento avanzado que incluye control de las pérdidas, verificación de los niveles de líquido y de aislamiento.

Tabla 93. Instalaciones encuestadas

S_N (kVA)	Número	E_0D_k	D_0C_k	C_0B_k
200	84	63	17	4
260	88	83	4	1
320	85	65	17	3
410	86	76	4	6
500	87	81	6	0
650	93	80	9	4
800	91	69	18	4
1.030	65	56	8	1
1.260	89	78	8	3
1.630	97	85	9	3
2.000	68	51	11	6
2.600	67	56	2	9
Total	1.000	843	113	44

5.3.3.3. Resultados y análisis

A partir de metodología descrita en el experimento han realizado los cálculos de los puntos de optimización de pérdidas, monitoreado las instalaciones y calculado su ahorro potencial. Finalmente se presentan resultados de recopilación de información sobre instalaciones de transformación con el objetivo de analizar el potencial de utilización de la metodología propuesta.

- Cálculo del punto de optimización de pérdidas

Se han calculado las pérdidas de los sistemas de transformación estudiados para cada una de las potencias y clases de eficiencia presentadas en la sección anterior. Para la combinación de transformadores que integran el centro de transformación se simulan las pérdidas a diferentes niveles de carga (S_L) funcionando con cada uno de los transformadores y con su funcionamiento en paralelo obteniéndose una curva de carga-pérdidas como la de la Fig. 119 , donde se muestra el resultado para una potencia de transformación de 410 kVA (transformadores de 160+250 kVA clase de eficiencia E_0D_k).

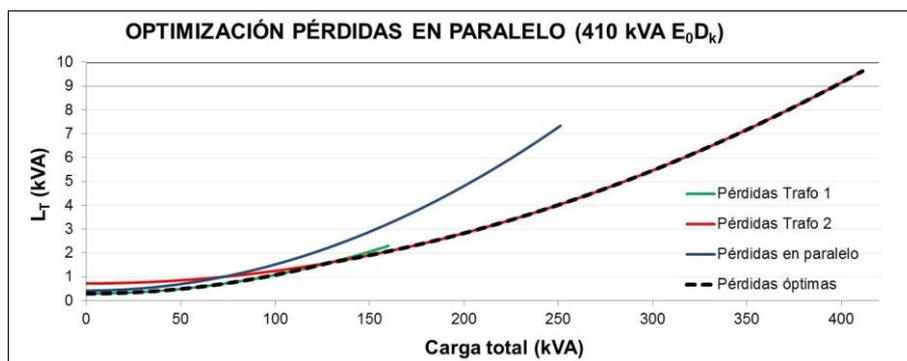


Fig. 119. Optimización pérdidas en paralelo, caso 410 kVA

En la Fig. 119 se observan las pérdidas del primer transformador funcionando aisladamente, las pérdidas del segundo con la misma estrategia de funcionamiento, las pérdidas del sistema en paralelo y la curva de pérdidas mínimas (óptima). Se determina el punto PLO como aquella potencia de carga a partir de la que las pérdidas disminuyen al conectar en paralelo ambos transformadores, detalle que se observa en la Fig. 120.

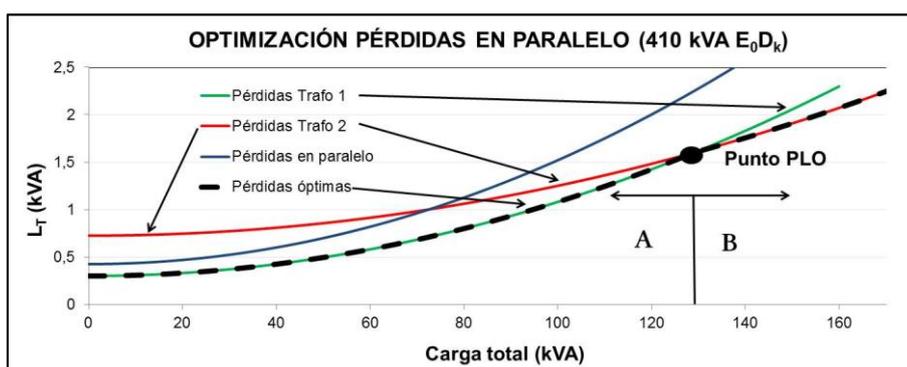


Fig. 120. Optimización pérdidas en paralelo, caso 410 kVA, detalle

En la zona A será óptimo trabajar con una conexión del sistema de un único transformador mientras que en la zona B será óptimo trabajar con una conexión en paralelo de ambos sistemas.

Para cada uno de los casos se ha calculado el PLO y se han obtenido los valores indicados en la Tabla 94. Se observa que como norma general a medida que aumenta la eficiencia del conjunto de transformadores el PLO disminuye aunque los valores son muy similares para todas las clases de eficiencia. El efecto del aumento de la clase de eficiencia es una disminución de las pérdidas en cualquier condición de funcionamiento.

Tabla 94. Resultado sistemas PLO

Potencia S_N (kVA)	E_0D_k	E_0D_k	D_0C_k	D_0C_k	C_0B_k	C_0B_k	Media
200	56	0,28	55	0,28	54	0,27	55,00
260	86	0,33	82	0,32	79	0,30	82,33
320	89	0,28	92,8	0,29	89	0,28	90,27
410	128	0,31	134	0,33	129	0,31	130,33
500	142,5	0,29	145	0,29	140	0,28	142,50
650	217	0,33	220	0,34	212	0,33	216,33
800	228	0,29	232	0,29	229	0,29	229,67
1.030	332	0,32	340	0,33	340	0,33	337,33
1.260	333	0,26	340	0,27	340	0,27	337,67
1.630	491	0,30	535	0,33	522	0,32	516,00
2.000	520	0,26	530	0,27	500	0,25	516,67
2.600	820	0,32	880	0,34	800	0,31	833,33

Representando gráficamente los valores obtenidos y realizando un tratamiento estadístico de los mismos se obtiene una correlación que permite calcular cuál es el valor del PLO para una potencia de transformación S_N , Fig. 121.

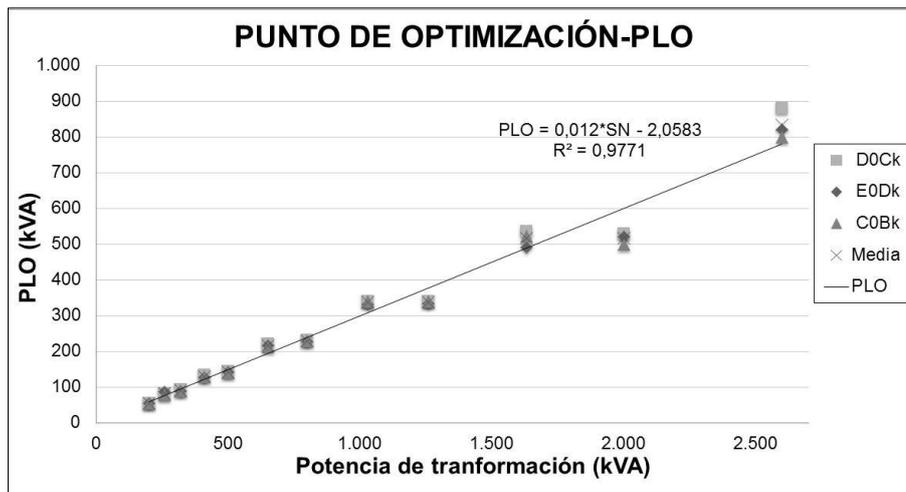


Fig. 121. Punto de optimización-PLO

Para cada clase de eficiencia se detallan el valor que alcanza el PLO así como el valor medio del PLO para cada potencia de transformación S_N . A partir de los resultados de la investigación llevada a cabo usando la metodología propuesta en el laboratorio se deduce un nuevo método de optimización de transformadores en paralelo. Realizando un análisis estadístico para validar la correlación se obtiene que los valores presentan una adecuada correlación lineal con un nivel de ajuste $R^2=0,9771$ y se obtiene un método de cálculo basado simplemente en la potencia de transformación instalada, (59):

$$PLO = 0,012S_N - 2,0583 \quad (59)$$

El método aquí propuesto permite implementar el sistema en cualquier instalación existente o futura con independencia de sus características. La sencillez del algoritmo permite programarlo en un sencillo autómatas programable que gobernará los sistemas de conexión/desconexión de los transformadores en paralelo. Debido a la necesidad de adaptar los sistemas de medida eléctrica a los requisitos de los nuevos sistemas de SGs se están realizando cambios los contadores eléctricos de todos los sistemas de distribución de potencia en EEUU y en Europa con un horizonte temporal máximo del 2020. Los sistemas SM poseen capacidad de programación de salidas de medida y en algunos casos pueden realizar cálculos lógicos. Con un sistema como el que se muestra en la Fig. 122 es posible utilizar el método PLO con un coste prácticamente nulo proporcionando retornos de la inversión en un periodo muy bajo.

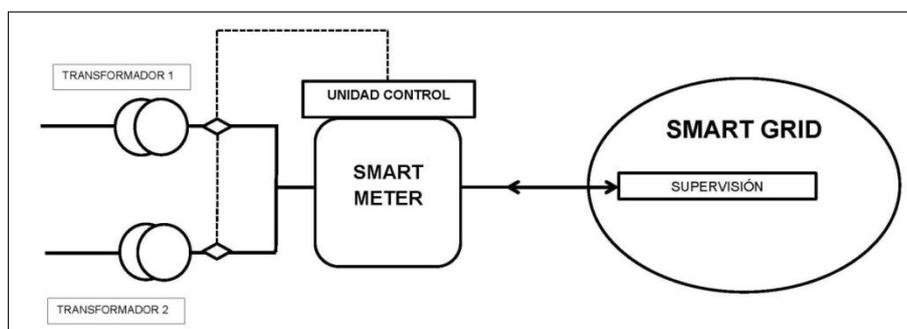


Fig. 122. Integración sistema PLO

Los registros de media eléctrica de doce instalaciones de tipo comercial, docente, deportivo e industrial con potencias respectivas de 650, 1.260, 1.630 y 2.600 kVA y las configuraciones detalladas se muestran en la Tabla 95. Se ha estudiado, para cada potencia de instalación, los tres tipos de nivel de eficiencia. Se monitorean las curvas de demanda y se registra la potencia aparente consumida en cada instante (S_{dem}). Posteriormente se computa para cada instante de tiempo las pérdidas en la instalación para la configuración de funcionamiento real, con ambos transformadores en paralelo ($L_{T,par}$) y la configuración óptima ($L_{T,opt}$) y el PLO para cada caso.

Tabla 95. Instalaciones estudiadas

S_N (kVA)	Transformadores en paralelo	Clasificación EN50464-1
650	250+400	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
1.260	2x630	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
1.630	630+1.000	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k
2.600	1.000+1.600	E ₀ D _k , D ₀ C _k , C ₀ B _k

Se presentan los resultados en la Fig. 123, Fig. 124, Fig. 125 y Fig. 126 con el detalle de las pérdidas para las instalaciones de clase de eficiencia E₀D_k:

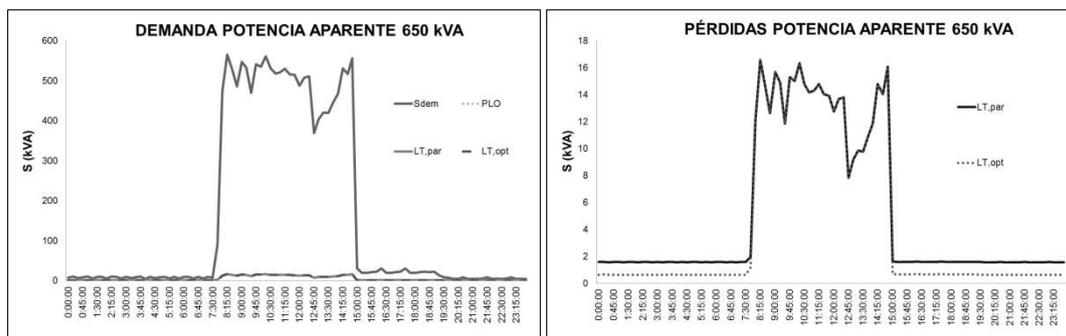


Fig. 123. Casos para potencia de 650 kVA

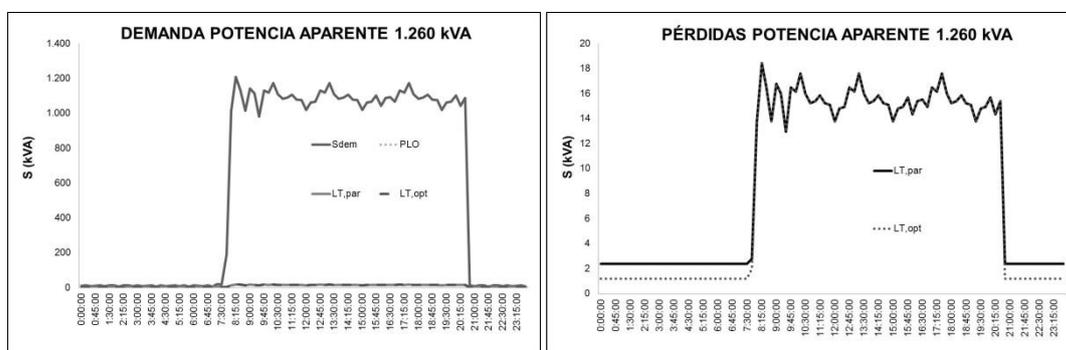


Fig. 124. Casos para potencia de 1.260 kVA

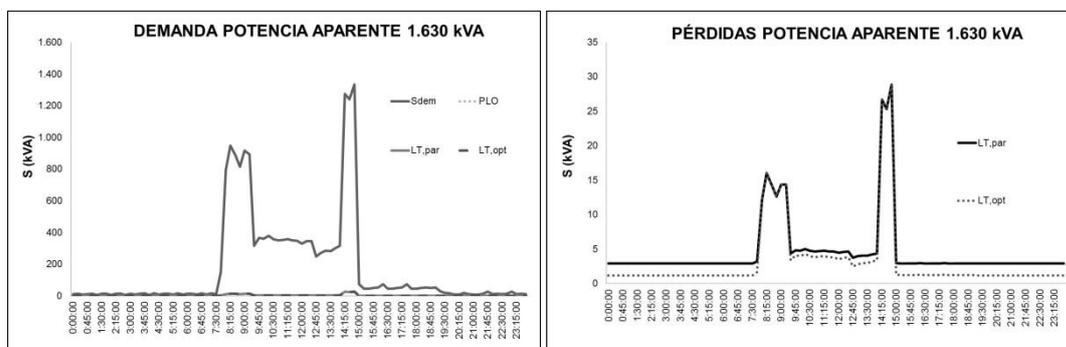


Fig. 125. Casos para potencia de 1.630 kVA

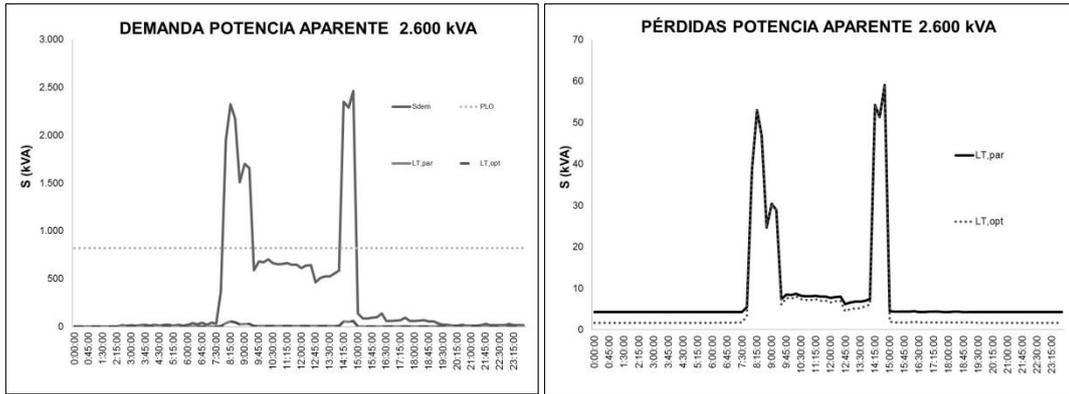


Fig. 126. Casos para potencia de 2.600 kVA

A partir de la curva de demanda mensual y de la recopilación de datos sobre periodos de funcionamiento anual se han calculado las pérdidas energéticas a lo largo de un año de funcionamiento, tanto en el modo de funcionamiento en paralelo como en el modo de funcionamiento optimizado. En la Fig. 127, Fig. 128, Fig. 129 y Fig. 130 se muestran los kWh en pérdidas a lo largo de todo el año con el funcionamiento actual, las pérdidas con el modo optimizado y el porcentaje de ahorro. Estos valores porcentuales de ahorro se resumen en la Tabla 96. Se obtienen reducciones en las pérdidas anuales en el sistema de transformación que oscilan, en función de la curva de carga, entre el 5,97% y el 41,46%. Estas reducciones en las pérdidas suponen un importante ahorro porcentual sin necesidad de modificar ni sustituir los transformadores o sus sistemas asociados.

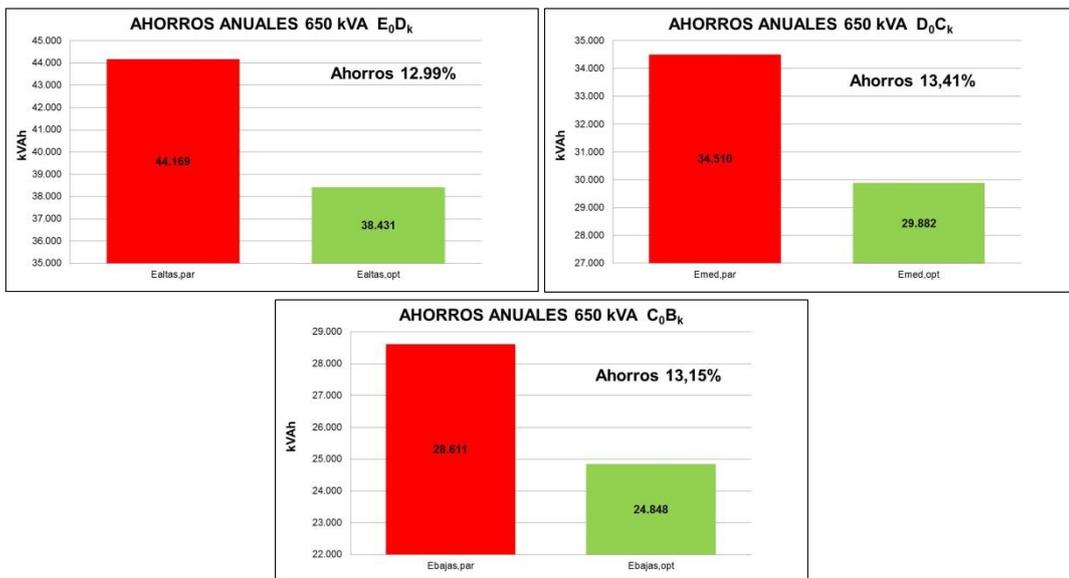


Fig. 127. Caso de estudio anual 650 kVA

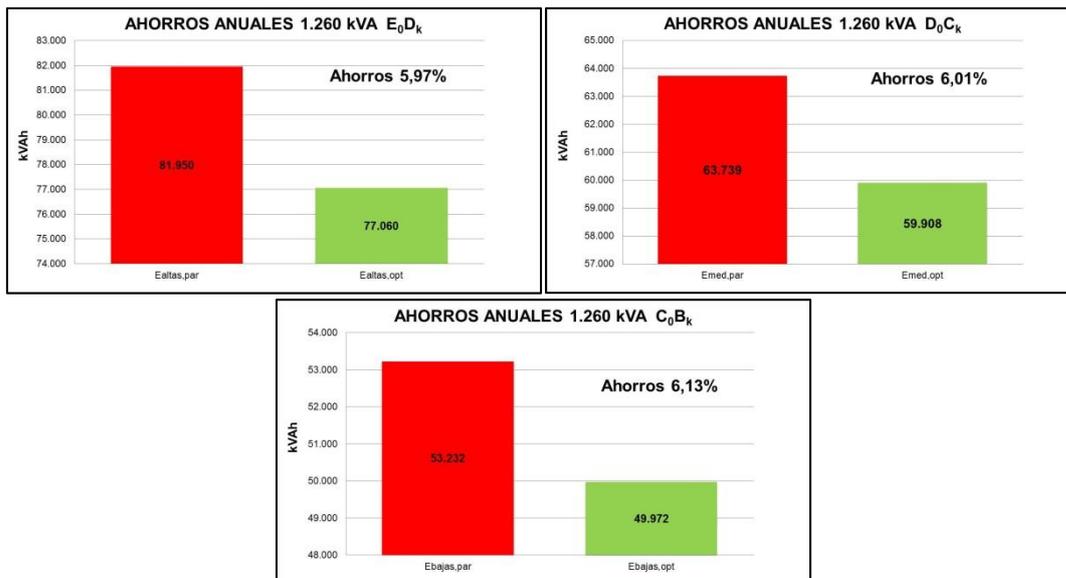


Fig. 128. Caso de estudio anual 1.260 kVA

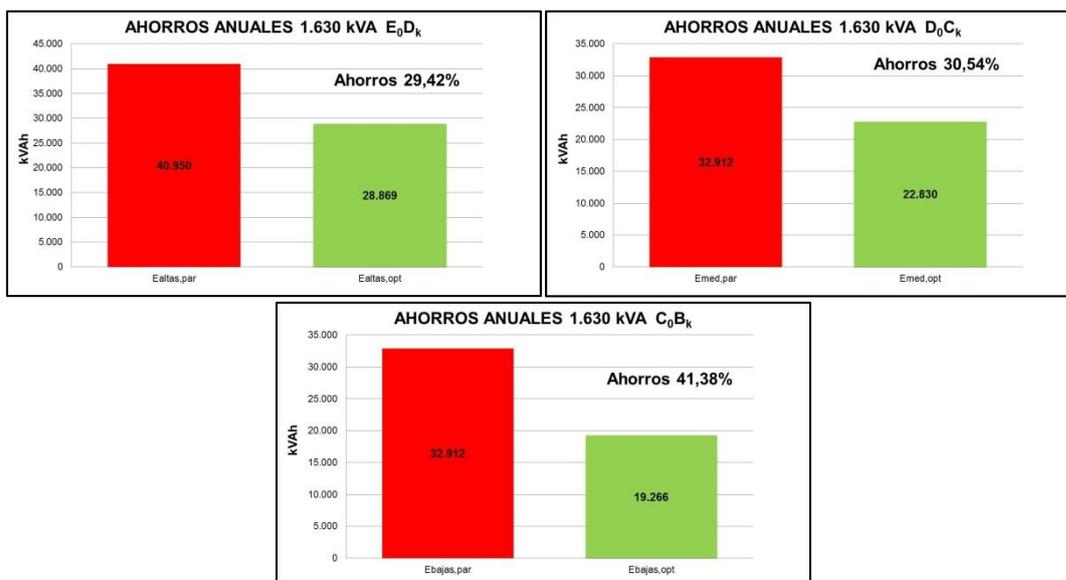


Fig. 129. Caso de estudio anual 1.630 kVA

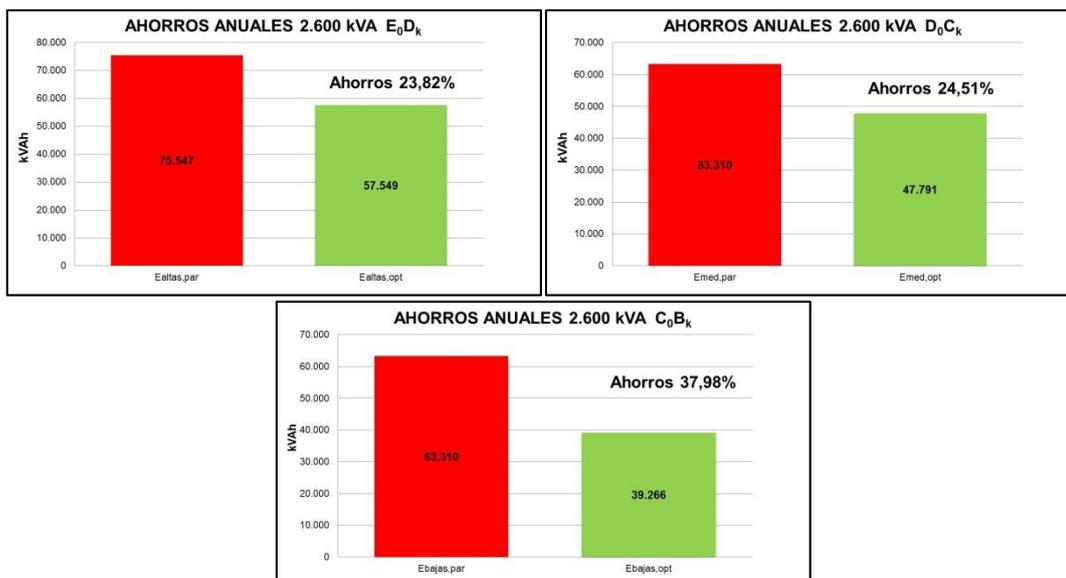


Fig. 130. Caso de estudio anual 2.600 kVA

Tabla 96. Resultados de ahorros anuales

S _N (kVA)	Transformadores en paralelo	%Reducción (E ₀ D _k)	%Reducción (D ₀ C _k)	%Reducción (C ₀ B _k)
650	250+400	12,99	13,41	13,15
1.260	2x630	5,97	6,01	6,13
1.630	630+1.000	29,50	30,63	41,46
2.600	1.000+1.600	23,82	24,51	37,98

- Resultado encuesta mantenimiento

Las empresas de explotación de sistemas eléctricos suministraron datos sobre las potencias de los centros de transformación, clase de eficiencia y mantenimiento anual realizado. Los detalles de las instalaciones y su clase de eficiencia se detallan en la Tabla 97 y en la Fig. 131.

Tabla 97. Detalle de instalaciones encuesta

Potencia (kVA)	Número	E ₀ D _k	D ₀ C _k	C ₀ B _k
200	84	63	17	4
260	88	83	4	1
320	85	65	17	3
410	86	76	4	6
500	87	81	6	0
650	93	80	9	4
800	91	69	18	4
1.030	65	56	8	1
1.260	89	78	8	3
1.630	97	85	9	3
2.000	68	51	11	6
2.600	67	56	2	9
TOTAL	1.000	843	113	44
		84%	11%	4%

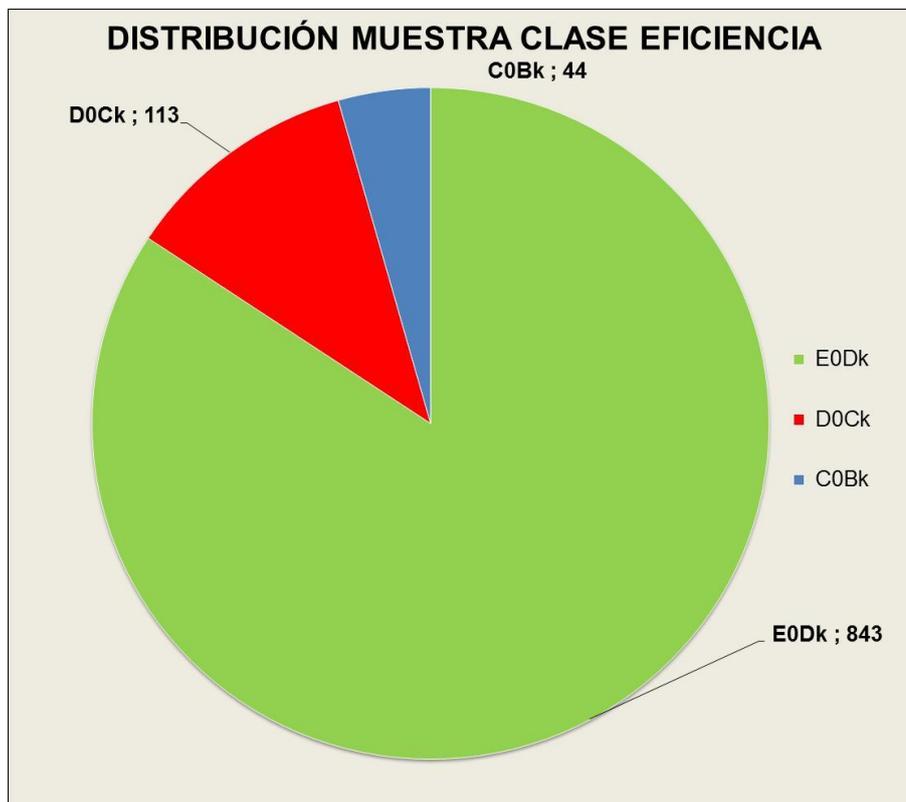


Fig. 131. Clases de eficiencia instalaciones encuesta

Los datos evidencian que pese a la importancia de los transformadores como elementos que generan elevadas pérdidas en el conjunto de los sistemas de distribución su elección no suele realizarse aplicando métodos que evalúen las pérdidas energéticas en todo su ciclo de vida. Los métodos como el TOC evalúan estos parámetros. Sólo el 5% de las instalaciones presentaban el mayor nivel de

eficiencia energética. Además se solicitó el tipo de mantenimiento realizado denotando que apenas el 1% era sometido a un mantenimiento avanzado orientado a la reducción de pérdidas, Fig. 132. Esta cifra demuestra que los centros de transformación no son habitualmente considerados como es debido en cuanto a optimización energética se refiere siendo muy elevado su potencial de emisión de GEI y las pérdidas económicas asociadas.

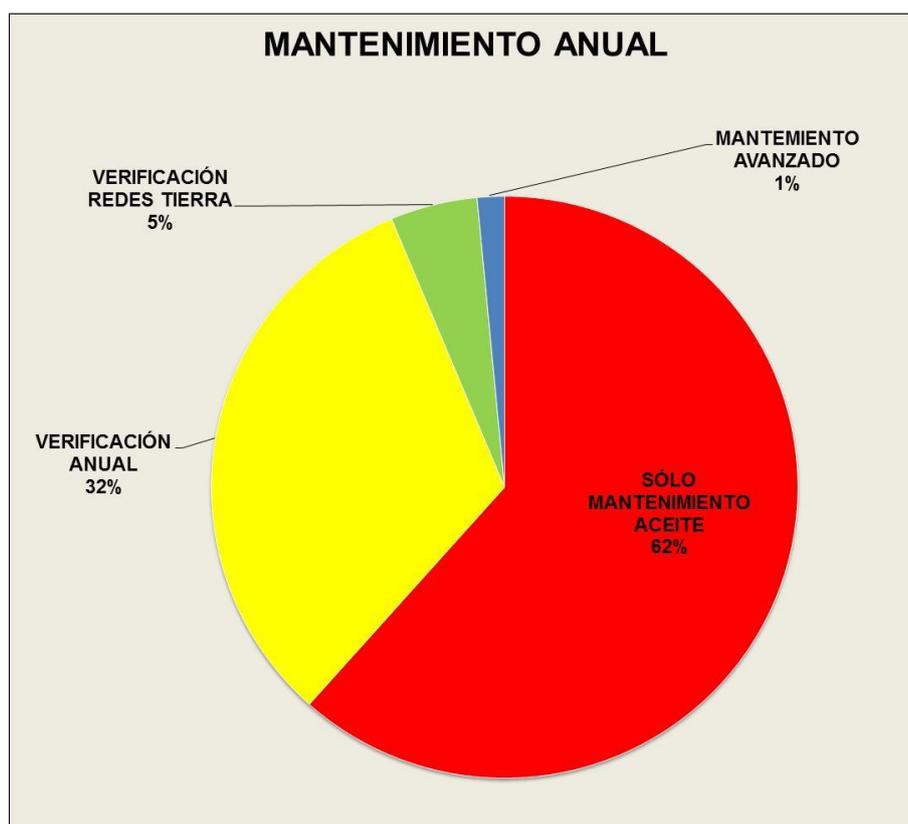


Fig. 132. Protocolos de mantenimiento en instalaciones encuesta

5.3.3.4. Conclusiones sobre el experimento

Se ha propuesto un ensayo para cuantificar las pérdidas energéticas en los sistemas de transformación compuestos por transformadores en paralelo y propone un método, denominado PLO, que permite reducir las pérdidas. Las pérdidas energéticas en los sistemas de transformación suponen una importante contribución a la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera y un elevado coste económico. Se propone el método y se valida para instalaciones de transformación de tres niveles de eficiencia lo que permite implementarlo en cualquier instalación de transformación. Los nuevos sistemas de transformadores de bajas pérdidas presentan menores pérdidas pero un mayor coste económico, por lo que su instalación sólo es rentable si el coste global durante el ciclo de vida es menor. En transformadores existentes la sustitución directa

no es rentable en casi ningún caso. El método propuesto reduce sus pérdidas durante toda su vida útil en instalaciones nuevas o existentes. El sistema propuesto no requiere para su implementación de ningún dispositivo de maniobra adicional y permite obtener ahorros porcentuales de hasta un 41% respecto a las pérdidas iniciales. Dado el gran número de instalaciones que cuentan con centros de transformación que tienen dos transformadores en paralelo existe un elevado potencial docente e investigador asociado a la herramienta. En instalaciones con funcionamiento horario no continuado el porcentaje de ahorro puede ser mucho más elevado puesto que durante las horas nocturnas y en fines de semana los transformadores siguen conectados en paralelo elevando de este modo las pérdidas. El conectarlos y desconectarlos acorde al PLO reduce esas pérdidas. En instalaciones con funcionamiento estacional las pérdidas anuales se pueden reducir de forma muy notable realizando la optimización propuesta en el estudio.

La infraestructura propuesta para el laboratorio hace que se puedan incluir un gran número de instalaciones al mismo y que las curvas de demanda puedan ser monitoreadas de forma sencilla. Se puedan además incluir instalaciones que se usen para otros experimentos y realizar, para ellas, el experimento sobre eficiencia energética en transformadores.

5.3.4. Redes de micropoligeneración para edificios en redes de generación distribuida

Los edificios representan, tal y como se estudió en los primeros capítulos, un importante consumo energético a nivel de España pero este patrón es extrapolable a Europa y a nivel mundial. El establecimiento de una nueva concepción de sistema eléctrico, basado en la generación distribuida, abre la posibilidad a la integración de sistemas de poligeneración para edificios mediante la implementación de redes de distrito de calor, frío y con la integración de la generación eléctrica dentro del sistema eléctrico de potencia. La poligeneración permite integrar sistemas de generación basados en múltiples fuentes de energía, renovables o convencionales, logrando una adaptación máxima a la demanda energética y proporcionando un suministro con altos niveles de seguridad, disponibilidad y operatividad. Dentro de este innovador ámbito surge este experimento, orientado a evaluación y realización de experimentos sobre la viabilidad técnica y económica de la implantación de sistemas de poligeneración. La herramienta propuesta para este fin es el potente entorno de simulación energética TRNSYS, que permite analizar y realizar simulaciones dinámicas de múltiples sistemas y tecnologías. Esta plataforma permite realizar simulaciones con un nivel de complejidad adaptable a múltiples ámbitos formativos, desde un nivel universitario hasta un nivel de doctorado y de investigación. Adicionalmente se plantea la implementación de complejos modelos termodinámicos que se pueden implementar en EES, lo que amplía la capacidad de interacción y la complejidad de los modelos. En la Tabla 98 se muestran las principales características del experimento.

Tabla 98. Experimento sobre sistemas de poligeneración

Destinatarios	Alumnos universitarios, doctorado e investigación Profesionales del ámbito energético Realización de acciones formativas y divulgativas sobre nuevas tecnologías de poligeneración	
Método de acceso remoto	Actual	Sistema de telegestión de consumos térmicos (gas natural) y eléctricos de edificios: tecnología GPRS
	Futurible	Sistema de telegestión de consumos vía PLC o cualquier otra tecnología de alta velocidad. Integración de sistemas SCADA o BMS
Herramienta de análisis propuesta	Sistema en TRNSYS, modelo en EES y uso de hoja de cálculo para análisis	
Objetivos	<p><u>Dotar</u> al usuario de una herramienta de simulación para ensayos avanzados sobre tecnologías de poligeneración y de conocimientos sobre las características de los sistemas y la adecuación a las diferentes tipologías de demanda</p> <p><u>Proporcionar</u> capacidad para el análisis del comportamiento de sistemas de poligeneración y para evaluar la viabilidad técnica y económica de su implantación. Proporcionar una herramienta para la investigación en la materia</p> <p><u>Concienciar</u> de la importancia de las tecnologías de poligeneración para el cumplimiento de los objetivos en materia de eficiencia energética y para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero</p>	
Metodología docente	<p>Estudio autónomo por parte de usuario</p> <p>Sesión formativa magistral</p> <p>Exposición en modo presentación</p> <p>Formación colaborativa e interactiva</p>	

Sistemas de poligeneración en redes de generación distribuida

Estudiantes universitarios y
Doctorado

Tecnologías horizontales

TRNSYS, EES y hoja de cálculo

Resumen de objetivos del experimento

En este experimento el usuario puede acceder a la demanda energética de un edificio integrado en la red de medida del laboratorio. Estas medidas constituyen la entrada al modelo de TRNSYS en el que el usuario o el docente pueden modelar de forma

flexibilidad de la herramienta y del propio laboratorio es posible incorporar perfiles de varios tipos de edificios para analizar el comportamiento, generar curvas de demanda propia o utilizar demandas de varios

El usuario accede a las curvas de un edificio o de un conjunto de ellos y usa la curva real para experimentar en TRNSYS y EES con sistemas de poligeneración.

detaillada todo el sistema, las conexiones, los componentes y las estrategias de control. Se obtienen resultados de comportamiento energético de todos los sistemas de poligeneración, energía generada, consumo de energía, calor, electricidad y frío producido así como otros datos relevantes. Todos estos datos pueden ser posteriormente exportados a una hoja de cálculo para llevar a cabo los análisis que se requieran. Dada la

edificios o grandes zonas de edificios, para poder estudiar de ese modo redes de poligeneración. El uso combinado de EES permite modelar complejos sistemas termodinámicos que son llamados por rutinas de cálculo de TRNSYS.

Tecnologías utilizadas

•••

El sistema utiliza los registros de los medidores de energía térmica y eléctrica de un edificio o de un conjunto de ellos: estos datos posteriormente se utilizan para el análisis en TRNSYS mediante la propuesta de diferentes sistemas y tecnologías de poligeneración. El modelo es totalmente flexible y permite cargar datos de cualquier base de datos o formato de intercambio, lo que posibilita incluir medidas de cualquier sistema presente o de desarrollo futuro.

5.3.4.1. Funcionamiento de la herramienta

El usuario del experimento accede a la interfaz de TRNSYS donde se han definido los sistemas de poligeneración utilizados y se han incluido todos los elementos de lectura de datos, control del sistema y salidas, tanto de tipo gráfico como fichero. A modo de ejemplo se ha propuesto un modelo de poligeneración complejo que incluye:

- Sistema de energía eólica.
- Sistema de cogeneración.
- Sistema electrolizador.
- Conversores de corriente continua y alterna.
- Sistema de almacenamiento de hidrógeno.

El usuario puede configurar todas las salidas, sistemas de recogida de datos y parámetros técnicos de los componentes según el modelo comercial o experimentar a simular. El sistema es totalmente adaptable a futuros desarrollos que se puedan producir o a labores docentes en I+D+i ya que se pueden introducir nuevos desarrollos así como futuros tipos de TRNSYS que se comercialicen o se desarrollen directamente para el propio laboratorio. En la Fig. 133 se muestra la estructura de la red de poligeneración propuesta.

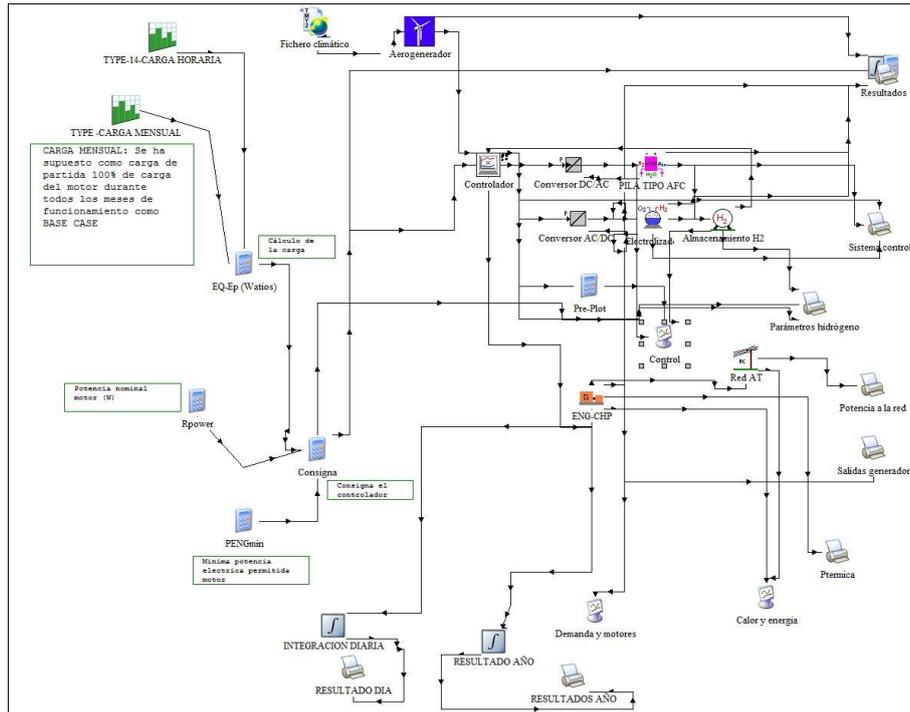


Fig. 133. Modelo de red de poligeneración

A modo de salidas se muestra como ejemplo la capacidad de monitoreo de diferentes elementos. En la Fig. 134 se muestra el comportamiento detallado del sistema de cogeneración: se muestran la potencia del sistema y las unidades de cogeneración en funcionamiento a lo largo de cada hora del año. Todos estos datos se pueden analizar posteriormente en una hoja de cálculo ya que son registrados y exportados en forma horaria por TRNSYS.

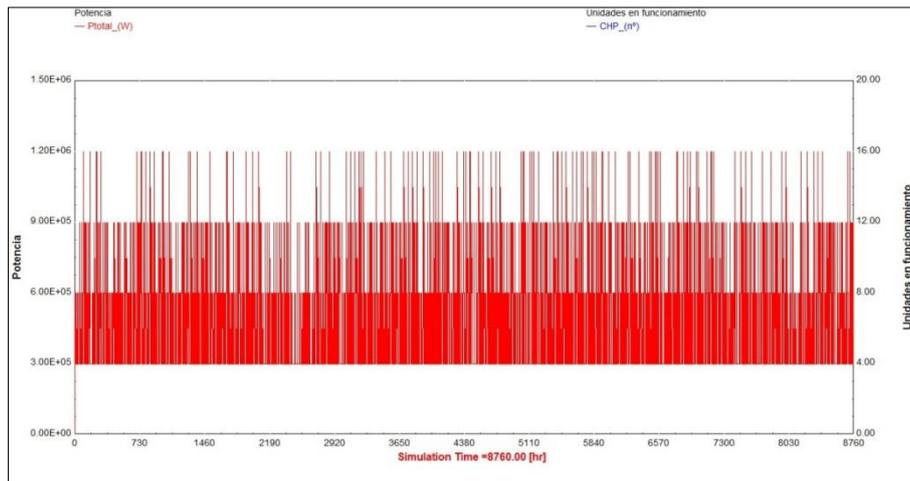


Fig. 134. Resultados en TRNSYS para sistema de cogeneración

En la Fig. 135 se muestra otro ejemplo de posible salida en la que aparecen las potencias térmicas y eléctricas a lo largo de todas las horas de funcionamiento del año y en la Fig. 136 se monitorea el comportamiento del sistema de hidrógeno.

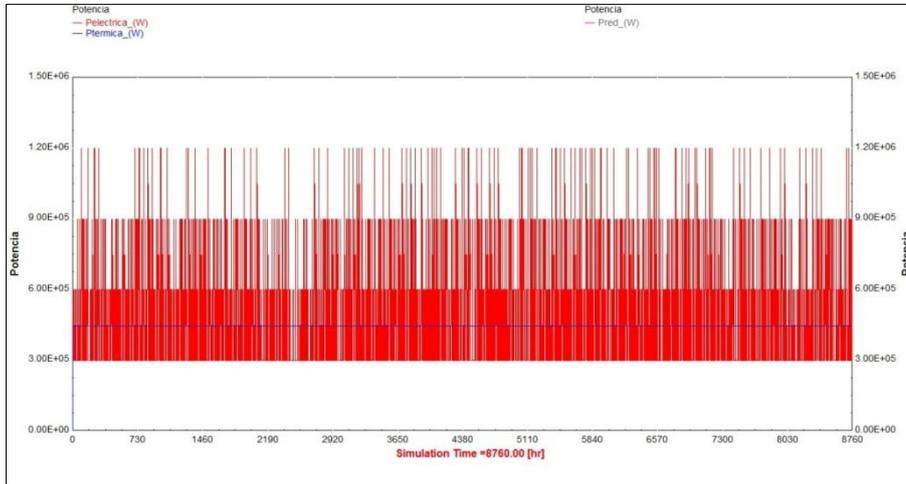


Fig. 135. Potencias térmicas y eléctricas en el modelo de TRNSYS

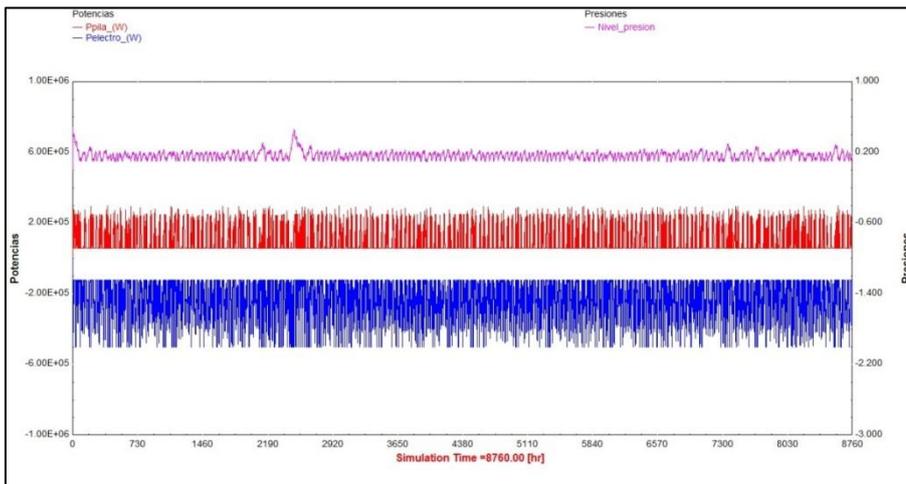


Fig. 136. Comportamiento del sistema de hidrógeno en TRNSYS

Se propone, a modo de demostración del gran potencial de la herramienta y de la metodología propuesta, el uso de una herramienta adicional de simulación para sistemas complejos, concretamente EES. Este modelo se propone para la simulación de un ciclo orgánico de Rankine (COR). Esta tecnología permite obtener energía eléctrica a partir de la recuperación de calor de baja temperatura, uso de calor residual, energía geotérmica u otros sistemas. Se muestra a continuación el código de EES propuesto que es llamado por la correspondiente rutina de TRNSYS.

```
$UnitSystem SI bar C
```

```
"SISTEMA DE POLIGENERACION-MODULO ORC"
```

```
" "
```

```
"Especificaciones Técnicas de la planta ORC-TESIS DOCTORAL LABORATORIO REMOTO DE EFICIENCIA ENERGETICA"
```

```
"Datos que vienen de TRNSYS"
```

```
$Import 'CLIPBOARD' m_dot_b_TRNSYS, m_dot_wf_TRNSYS, W_dot_p_TRNSYS, T_a_TRNSYS
```

```
"Flujo de agua caliente-DATO TANQUE TRNSYS"
```

```
m_dot_b=m_dot_b_TRNSYS[kg/s]
```

```
"Flujo de fluido de trabajo-DATO TRNSYS"
```

```
m_dot_wf=m_dot_wf_TRNSYS[kg/s]
```

```
"Potencia de la bomba-TRNSYS"
```

```
W_dot_p=W_dot_p_TRNSYS
```

```
"Temperatura agua alimentacion-TRNSYS"
```

```
T_a=T_a_TRNSYS[C]
```

```
"Temperatura de agua entrada y salida a torre"
```

```
T_cw.out=37: T_cw.in=28
```

```
c_bar=4,18[kJ/kg·K]
```

```
" "
```

```
"Datos"
```

```
P[1]=15,5[bar]: x[1]=1
```

```
T[2]=88: P[2]=1,35[bar]
```

```
T[3]=65: P[3]=1,35[bar]
```

```
x[4]=0
```

```
T[5]=38: P[5]=15,5[bar]
```

```
T[6]=61: P[6]=15,5[bar]
```

```
P[7]=15,5[bar]: x[7]=0
```

```

T_c=136[C]
" "

"Ecuaciones"

h[1]=Enthalpy(n-pentane;P=P[1];x=x[1]): s[1]=Entropy(n-pentane;P=P[1]; x=x[1])
h[2]=Enthalpy(n-pentane;T=T[2];P=P[2]): s[2]=Entropy(n-pentane;T=T[2];P=P[2])
h[3]=Enthalpy(n-pentane;T=T[3];P=P[3]): s[3]=Entropy(n-pentane;T=T[3];P=P[3])
P[4]=Pressure(n-pentane;x=x[4];h=h[4]): s[4]=Entropy(n-pentane;x=x[4];h=h[4])
h[5]=Enthalpy(n-pentane;T=T[5];P=P[5]): s[5]=Entropy(n-pentane;T=T[5];P=P[5])
s[6]=Entropy(n-pentane;h=h[6];P=P[6])
h[7]=Enthalpy(n-pentane;P=P[7];x=x[7]): s[7]=Entropy(n-pentane;P=P[7];x=x[7])
" "

h_2s=Enthalpy(n-pentane;s=s[1];P=P[2])
h_5s=Enthalpy(n-pentane;s=s[4];P=P[5])
" "

T[1]=Temperature(n-pentane;P=P[1];x=x[1])
T[4]=Temperature(n-pentane;P=P[4];x=x[4])
T[7]=Temperature(n-pentane;P=P[7];x=x[7])
" "

"Bomba Alimentación"
W_dot_p=m_dot_wf*(h[5]-h[4])
eta_B=(h_5s-h[4])/(h[5]-h[4])
" "

"Turbina"
W_dot_t=m_dot_wf*(h[1]-h[2])
eta_T=(h[1]-h[2])/(h[1]-h_2s)
" "

"Condensador"
Q_dot_c=m_dot_wf*(h[3]-h[4])
m_dot_cw*c_bar*(T_cw.out-T_cw.in)=m_dot_wf*(h[3]-h[4])
" "

```

```
"Recuperador"  
(h[6]-h[5])=(h[2]-h[3])  
  
"Precalentador"  
m_dot_b*c_bar_b*(T_b-T_c)=m_dot_wf*(h[7]-h[6])  
  
"Evaporador"  
m_dot_b*c_bar_b*(T_a-T_b)=m_dot_wf*(h[1]-h[7])  
  
"Calor cedido al agua de refrigeración"  
q_c=h[3]-h[4]  
  
"Calor aportado al fluido de trabajo"  
q_a=h[1]-h[6]  
  
"Rendimiento térmico del ciclo"  
eta_th=1-(q_c/q_a)  
  
"Pinch-Point"  
DELTA_Tpp=T_b-T [7]  
  
"SALIDAS TRNSYS"  
  
"Energia electrica"  
out1=W_dot_t  
  
"Rendimiento ciclo"  
out2=eta_th=1-(q_c/q_a)  
  
"Calor a sistema de condensacion"  
out3=q_c  
  
$Export 'CLIPBOARD' out1, out2, out 3
```

5.3.4.2. Conclusiones sobre el experimento

El experimento propuesto demuestra la capacidad del laboratorio para integrar de forma eficaz datos de lecturas reales y complejas herramientas de simulación. El usuario puede utilizar modelos existentes, investigar en nuevos desarrollos o utilizar librerías comerciales auxiliares. La integración de redes de poligeneración requiere de estudios detallados para analizar la viabilidad de la integración de diferentes tecnologías y esta herramienta permite afrontar labores docentes y de desarrollo con un gran valor añadido y con posibilidades de crecimiento y personalización prácticamente ilimitadas.

6. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES, CONTRIBUCIONES Y CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

La mejora de la eficiencia energética se ha convertido en una estrategia prioritaria en los últimos años y su relevancia e importancia no será sino creciente en un futuro próximo.

El desarrollo de mejores tecnologías, técnicas y sistemas que conlleven la reducción de la demanda energética, la mejora de la eficiencia energética y la reducción del consumo de energía primaria deben de ir acompañados, de forma necesaria, de un esfuerzo formativo que conlleve la adecuada difusión de todos estos avances. Esta difusión debe de llevarse a cabo de un modo totalmente transversal y que abarque amplios sectores de la sociedad: futuros profesionales en formación, personal en activo y sociedad en general. La concienciación y la formación en estos campos es una pieza fundamental para poder construir el objetivo buscado y perseguido.

Los laboratorios remotos permiten la realización de acciones formativas sin necesidad de una presencia del usuario en las instalaciones. Estos desarrollos se han venido utilizando de forma habitual como herramienta formativa en el ámbito de la electricidad, la electrónica, el control y la automática pero no existen desarrollos específicos en materia de mejora de la eficiencia energética. Aprovechando esta necesidad se han aprovechado otros desarrollos tecnológicos que se están llevando a cabo, principalmente en el ámbito de la gestión de la información sobre consumos energéticos, los sistemas de telegestión y las redes inteligentes o Smart Grids. Estos nuevos conceptos y desarrollos hacen posible la transmisión de información de un modo rápido, bidireccional y en tiempo real. Esa información puede ser aprovechada para realizar acciones formativas basándose en datos de instalaciones reales, lo que conllevará mejores resultados docentes y facilitará la difusión. Aprovechando estas tecnologías se ha propuesto en este estudio un desarrollo de laboratorio remoto que, mediante la recopilación de información de instalaciones reales, permita la realización de ensayos en materia de eficiencia energética en ámbitos multidisciplinares, sin limitaciones de software o de sistemas y con capacidad absoluta de actualización, modificación e integración de nuevas tecnologías que vayan surgiendo.

El modelo de laboratorio expuesto en la tesis doctoral supone una aportación innovadora a la comunidad científica, al proponer un nuevo concepto de laboratorio remoto que suple gran parte de las deficiencias de los desarrollos existentes en la actualidad y abre nuevas vías de desarrollo prácticamente ilimitadas. Se aporta el desarrollo de un laboratorio remoto que permite formar transversalmente a cualquier tipo de usuario final en eficiencia energética, incluyendo profesionales en activo, estudiantes o público general. El nuevo concepto de laboratorio aporta una solución que a diferencia de los desarrollos existentes aporta datos de instalaciones reales, es actualizable de forma ilimitada y no es obsolescente. Por ello la comunidad científica se verá beneficiada con la posibilidad de desarrollar sistemas que bajo este nuevo estándar podrán suplir gran parte de las necesidades de formación presentes, pero también futuras. La capacidad de integrar nuevas instalaciones, actualizar los laboratorios según los nuevos desarrollos científicos y proponer cualquier tipo de mejora es inherente al propio desarrollo. No hay limitación de plataformas tecnológicas, de software o de gestión de la enseñanza, por lo que se puede adaptar a cualquier entorno formativo. Finalmente, pero no por ello menos importante, el laboratorio remoto constituye en sí mismo una plataforma de I+D+i en continua evolución y con un potencia del transferencia tecnológica muy elevado. A diferencia de los laboratorios remotos existentes en la actualidad que el sistema utilice datos de instalaciones reales supone una validación de los desarrollos en tiempo real, permitiendo detectar desviaciones frente a los objetivos propuestos en fases muy tempranas así como adaptar los protocolos de la investigación a las nuevas necesidades que se vayan detectando.

En el ámbito de la cooperación al desarrollo se ha aportado un nuevo concepto y solución para la formación e investigación en eficiencia energética. Tanto los profesionales o estudiantes que se encuentran en países o zonas con necesidades educativas en esta materia pueden estudiar y formarse utilizando como plataformas de ensayos y validación instalaciones reales que pueden estar situadas a cientos de kilómetros del lugar y contar con los últimos desarrollos en la materia. Se ha aportado una solución orientada a mejorar la capacidad formativa pero también la calidad de vida global en estas zonas, como consecuencia de un mejor y más eficiente uso de la energía y de la posibilidad de aprovechar fuentes de energía renovables. Se ha demostrado que la solución propuesta permite no sólo formar a profesionales en esas zonas donde no hay recursos para instalaciones experimentales físicas ni personal con capacidad docente sino que también se puede convertir en una plataforma de investigación y desarrollo de soluciones. Los objetivos propuestos, abordar la concepción del sistema de laboratorio remoto y el desarrollo de experimentos que

permitan poder poner a prueba su funcionalidad en el ámbito de la cooperación al desarrollo, se han cumplido.

La validación de los resultados ha sido, en esta tesis, un proceso continuo dentro de su propio desarrollo. A medida que se ha propuesto un experimento basado en una instalación real o en un sistema energético o mejora tecnológica se ha desarrollado un modelo que permite medir y cuantificar, de forma objetiva, los parámetros energéticos antes y después de la actuación de mejora de la eficiencia energética. El uso de datos de instalaciones reales y la propuesta de introducción de sistemas que tendrán un fuerte desarrollo en los próximos años, principalmente SGs, asegura que esta validación será continua, automática e ilimitada. Cualquier nuevo desarrollo e instalación que se incluya a la infraestructura del laboratorio remoto implicará de forma automática la toma de datos y de mediciones que validarán o desmentirán qué variaciones se producen en los parámetros de eficiencia energética de la instalación. Fruto de estas investigaciones y de las validaciones llevadas a cabo de forma continua se han derivado dos artículos publicados en sendas revistas científicas indexadas como Q1 en el JRC, una patente sobre el sistema de reducción de pérdidas en los transformadores (actualmente en fase de contactos para su comercialización), la participación en tres congresos científicos internacionales y la elaboración de otros 8 artículos científicos, actualmente en fase de revisión para su publicación en revistas especializadas de reconocido prestigio internacional e indexadas en el JRC.

Se ha propuesto y aportado un nuevo concepto de laboratorio que puede ser desarrollado de forma ilimitada y adaptado a las necesidades presentes y a las que en un futuro se puedan presentar. El sistema propuesto posee además la novedad de que es implementable bajo cualquier sistema de software, adaptable por el docente o por el usuario, y no presenta limitaciones en cuanto a nivel de conocimientos. Un mismo experimento o fuente de datos puede ser utilizado para realizar acciones formativas desde un nivel básico hasta la realización de estudios complejos a nivel de doctorado o de investigación.

6.2. TRABAJOS FUTUROS

El objetivo de la tesis doctoral se ha visto satisfecho pero el propio cumplimiento del mismo deja abierto un gran frente de futuros trabajos en la materia, que podrían concluir en la implementación de uno o varios laboratorios remotos basados en el

modelo propuesto y que presten servicio formativo a una o varias entidades, pudiendo ser estas organizaciones docentes, organismos o empresas del sector.

Los experimentos propuestos poseen una capacidad de extracción de conclusiones y una capacidad docente contrastada y pueden servir como primer paquete de soluciones a implementar pero no existen limitaciones en cuanto a futuros trabajos. La Universidad Nacional de Educación a Distancia, por sus propias características y por su objetivo, es un candidato idóneo a la implantación del sistema propuesto. El trabajo futuro debe centrarse en la construcción del propio entorno de servidores de datos y de los servicios de cliente, en la captación de instalaciones para su inclusión al laboratorio remoto y en el desarrollo de nuevas herramientas de análisis y de experimentación, incluyendo desarrollos propios ad hoc para este fin.

Además el laboratorio remoto se basa en múltiples tecnologías de comunicación, transmisión de información, tratamiento de datos y desarrollos para Smart Grids cuyo desarrollo estará asociado a mejoras en el laboratorio pero también en la propia tecnología, abriendo de este modo un campo de trabajo adicional que puede contribuir, de forma multidisciplinar, al avance del estado del arte en la materia. Uno de los objetivos y trabajos futuros es difundir las nuevas tecnologías que permitan mejorar la eficiencia energética y la calidad de vida de las personas en países subdesarrollados o en vías de desarrollo. Dentro del despliegue del laboratorio el uso del mismo en cooperación al desarrollo debe de ser uno de los campos prioritarios al ser uno de los de mayor posibilidad de contribución social.

Finalmente, y no por ello menos importante, los trabajos futuros se han de centrar también en el desarrollo de programaciones y metodologías docentes así como en el estudio de técnicas que garanticen la adecuada difusión de los conocimientos generados, faciliten el aprendizaje e implenten un sistema de retroalimentación del sistema orientado a la mejora continua del mismo. En este marco es básico tener un amplio conocimiento de los impactos y efectos que las acciones formativas tienen en diferentes ámbitos de la sociedad para poder, de este modo, adaptar el sistema a las nuevas necesidades que vayan surgiendo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [AFEC, 2011] AFEC <<http://www.afec.es/es/index.asp> >
- [Akbari et al., 1992] Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J., Winert, S., (Eds.) 1992. Cooling Our Communities – A Guidebook on Tree Planting and Light-colored Surfacing, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division, 217 pp.
- [Akbari et al., 1997] Akbari, H., Bretz, S., Taha, H., Kurn, D., Hanford, J., 1997. Peak power and cooling energy savings of high albedo roofs, *Energy and Buildings* 25(2), 117–126 .
- [Akbari et al., 2009] Akbari, H., Menon, S., Rosenfeld, A., 2009. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂, *Climatic Change* 94, 275–286, doi:10.1007/s10584-008-9515-9.
- [Álvarez, 1997] Álvarez, E., 1997. Economía industrial del sector eléctrico: Estructura y Regulación. Madrid: Civitas.
- [Alves et al., 2007] Alves, G. R., Gericota, M. G., Silva, J. B., Alves, J. B., 2007. “Large and small scale networks of remote labs: A survey”, in *Advances on Remote Laboratories and E-Learning Experiences*, Bilbao, Spain: Univ. Deusto, Jun. 2007.
- [ANSI/IEEE, 1992] ANSI/IEEE, 1992. IEEE loss evaluation guide for power transformers and reactors, ANSI/IEEE Standard C57.120-1991.
- [Ariño and López de Castro, 1998] Ariño, G., López de Castro, L., 1998. El sistema eléctrico español. Regulación y Competencia. Madrid: Montecorvo.
- [ASHRAE, 1984] ASHRAE, High Intensity Infrared Radiant Heating, 1984. 1984 system Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, Chapter 18.
- [ASHRAE, 1985] ASHRAE, Physiological Principles for Comfort and Health, 1985. 1985 Fundamental Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, Chapter 8.
- [ASHRAE, 1993] ASHRAE, 1993. Physiological Principles and Thermal Comfort, 1993 ASHRAE Handbook- Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, Chapter 8.
- [ASTM, 1996] ASTM Standard G159-91, 1996. Standard Tables for References Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5: Direct Normal and Hemispherical for a 37° Tilted Surface (in compliance with ISO 9845-1:1992).

- [ASTM, 2005] ASTM Standard E903-96, 2005. Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres.
- [ASTM, 2008] ASTM E408-71, 2008. Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-meter Techniques.
- [Asumadu et al., 2005] Asumadu, J., Tanner, R., Fitzmaurice, J., Kelly, M., Ogunleye, H., Belter, J., Koh, S., 2005. A web-based electrical and electronics remote wiring and measurement laboratory (RwmLAB) instrument, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 54(1), 38–44.
- [Auliciems, 1981] Auliciems, A., 1981. Towards a psycho-physiological model of thermal perception, Int J Biometeorol 25, 109–22.
- [Bagnasco et al, 2009] Bagnasco, A., Boccardo, A., Buschiazzo, P., Poggi, A., Scapolla, A. M., 2009. A service-oriented educational laboratory for electronics, IEEE Transactions on Industrial Electronics 56(12), 4768–4775.
- [Bagnasco et al., 2006] Bagnasco, A., Poggi, A., Parodi, G., Scapolla, A. M., 2006. Exposing measurement instruments as grid services, in Distributed Cooperative Laboratories: Networking Instrumentation, and Measurements, New York: Springer-Verlag.
- [Bahring et al., 2006] Bahring, H., Keller, J., Schiffmann, W., 2006. Remote operation and control of computer engineering laboratory experiments, in Proc. WCAE: 33rd Int. Symp. Comput. Archit., Jun. 2006.
- [Bahring, 2004] Bahring, H., Keller, J., Schiffmann, W., 2004. A combined virtual and remotely accessible microprocessor laboratory, in Proc. 11th WCAE, Jun. 2004, pp. 136–141.
- [Baker and Standeven, 1996] Baker, N., Standeven M., 1996. A behavioral approach to thermal comfort assessment in naturally ventilated buildings. In: Proceedings CIBSE national conference. Eastbourne, Chartered Institute of Building Services Engineers, London, 76–84.
- [Baranowski and Hopkinson, 1992] Baranowski, J., Hopkinson, P., 1992. An alternative evaluation of distribution transformers to achieve the lowest TOC, IEEE Trans Power Deliv 7, 614–9.
- [Bauer et al., 2009] Bauer, M., Plappert, W., Chong, W., Dostert, K., 2009. Packet-oriented communication protocols for smart grid services over low-speed PLC, in: Proc. IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications 2009, 89–94.
- [Bennett and Highfill, 2008] Bennett, C., Highfill, D., 2008. Networking AMI smart meters, in: Proc. IEEE Energy 2030 Conference 2008, 1–8.
- [Berglund, 1978] Berglund, L., 1978. Mathematical Models for Predicting the Thermal Comfort Response of Building Occupants, ASHRAE Trans. 84.

- [Bertoldi et al., 2003] Bertoldi, P., Berrutto, V., Renzio, M., Adnot, J., Vine, E., 2003. How are EU ESCOs behaving and how to create a real ESCO market? Proceedings of the 2003 ECEEE Summer Study, European Council for an Energy-Efficient Economy, Paris, France, pp. 909–916.
- [Billaud, 2002] Billaud, M., Zimmer, T., Geoffroy, D., Danto, Y., Effinger, H., Seifert, W., Martinez, J., 2002. Gomez, F., Real measures, virtual instruments, in Proc. 4th IEEE Int. Caracas Conf. Devices, Circuits Syst., 2002, pp. I023-1–I023-4.
- [Bins et al., 1986] Bins, D., Crompton, A., Jaberansari, A., 1986. Economic design of a 50 kVA distribution transformer. Part 2: effect of different core steels and loss capitalisations. IEE Proc Gener Trans Distrib 133, 451–6.
- [BOE, 2006] Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Ministerio de Educación, 2006. http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2006-7899, acceso Febrero 2012.
- [Boisvert et al., 2002] Boisvert, R., Cappers, P., Neenan, B., 2002. The benefits of customer participation in wholesale electricity markets, *Electr J* 15, 41–51.
- [Boixo, 2012] Boixo, S., Diez-Vicente M., Colmenar, A., Alonso, M., 2012. Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia. *Energy* 38(1),425-438.
- [Borge, 2008] Borge, D., 2008. Telegestión y Cooperación al Desarrollo, binomio de futuro en Energías Renovables, *Revista DYNA*, Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España 83, 61-62.
- [Borge et al., 2008] Borge, D., Bayer, J., Melgar, A., 2008. Kynetic study of the biomass devolatilization process in particles sizes between 2-19 mm by means of thermogravimetric analysis, *Revista DYNA Universidad Nacional de Colombia* 155, 123-131.
- [Borge et al., 2010] Borge, D., Bayer, J., Agudelo, J., 2010. Aproximaciones teórico experimentales del proceso de gasificación de biomasa, *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía* 52, 95-107.
- [Borge et al., 2011] Borge, D., Colmenar, A., Castro, M., Martín, S., Sancristobal, E., 2011. Exergy efficiency analysis in buildings climatized with LiCl-H₂O solar cooling systems that use swimming pools as heat sinks, *Energy and Buildings* 43, 3161–3172.
- [Borza et al., 2004] Borza, P., Gomes, L., Scutaru, G., 2004. VIRTUAL-LAB'2004 e-learning and virtual and remote laboratories, in Proceedings. 1st International. Workshop E-Learning Virtual Remote Lab., 150–160.
- [Bretz, 1997] Bretz, S., Akbari, H., 1997. Long-term performance of high albedo roof coatings, *Energy and Buildings* 25, 159–167.

- [Brooks, 1980] Brooks, J., 1980. Solid State Transformer Concept Development, Naval Material Command, Civil Engineering Laboratory, Naval Construction Battalion Ctr., Port Hueneme, CA.
- [Calise et al., 2006] Calise, F., Palombo, A., Vanoli, L., 2006. Design and partial load exergy analysis of hybrid SOFC-GT power plant, *Journal of Power Sources* 158, 225–244.
- [Carbonmetrics, 2008] Smart grids. Carbonmetrics, 2008. <http://www.carbonmetrics.eu/Smart-Grids.php>, acceso Diciembre 2011.
- [Cartalis et al., 2001] Cartalis, C., Synodinou, A., Proedrou, M., Tsangrasoulis, A., Santamouris, M., 2001. Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the Southeast Mediterranean region, *Energy Conversion and Management* 42(14), 1647–1656.
- [Casini et al., 2007] Casini, M., Prattichizzo, D., Vicino, A., 2007. Operating remote laboratories through a bootable device, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54(6), 3134–3140.
- [Castellanos et al., 2006] Castellanos, A. R. S., Santana, L. H., Rubio, E., Ching, I. S., Santonja, R. A., 2006. Virtual and remote laboratory for robot manipulator control study, *International Journal of Engineering Education* 22(4), 702–710.
- [CBC, 2009] CBC, 2009. In depth: smart meters: FAQs. <http://www.cbc.ca/news/background/energy/smartmeters.html>, acceso Mayo 2012
- [CEC, 2000] Commission of the European Communities. Green Paper on the security of energy supply. Commission Green Paper of 29 November 2000 Towards a European strategy for the security of energy supply [COM(2000) 769 final], 2000. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0772:FIN:EN:HTML>, acceso Agosto 2011.
- [CEC, 2006] Commission of the European Communities. Green Paper - A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy {SEC(2006) 317}, COM/2006/0105 final, 2006. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0105:FIN:EN:HTML>, acceso Agosto 2011.
- [CEC, 2008] Commission of the European Communities. Communication from the Commission - Energy efficiency: delivering the 20% target, COM/2008/0772 final, 2008. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0772:FIN:EN:HTML>, acceso Agosto 2011.

- [CEC, 2009] Commission of the European Communities. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, 2009. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF>, acceso Agosto 2011.
- [CEC, 2010] Commission of the European Communities. Energy 2020: A strategy for competitive, sustainable and secure energy, COM/2010/0639 final, 2010. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:EN:HTML>, acceso Septiembre 2011.
- [CEC, 2011] Commission of the European Communities. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Smart Grids: from innovation to deployment, COM/2011/0202 final, 2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0202:FIN:EN:HTML>, acceso Agosto 2011.
- [CENELEC, 2007] CENELEC, 2007. Three-phase oil-immersed distribution transformers 50 Hz, from 50 kVA to 2500 kVA with highest voltage for equipment not exceeding 36 kV –Part 1: General requirements. CENELEC Standard EN 50464-1.
- [Chamas and Nokali, 2004] Chamas, I., Nokali, M. A. E., 2004. Automated PSpice simulation as an effective design tool in teaching power electronics, IEEE Transactions on Education 47(3), 415–421.
- [Chebbo, 2007] Chebbo, M. EU SmartGrids Framework Electricity Networks of the future 2020 and beyond. In Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE, 1–8, 2007.
- [Chen, 2010] Chen, W., Li, Y., Huang, G., Chen, X., Li, Y., 2010. A two-stage inexact-stochastic programming model for planning carbon dioxide emission trading under uncertainty, Appl Energy 87, 1033–47.
- [Cisco, 2009] Cisco, 2009. Cisco outlines strategy for highly secure. Smart Grid Infrastructure. Press release. http://newsroom.cisco.com/dlls/2009/prod_051809.html, acceso Mayo 2012.
- [Clastres, 2011] Clastres, C. Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives. Energy Policy 39, September 2011, 5399-5408.

- [Cleveland, 2008] Cleveland, F., 2008. Cyber security issues for advanced metering infrastructure, in: Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy 2008, 1–5.
- [Climatelab, 2011] Climatelab, 2011. Smart Meters. Available from: <http://climatelab.org/Smart Meters>, acceso Mayo 2012
- [Climatewel, 2003] Climatewell 10, 2003 <http://www.climatewell.com/index.html>, acceso Mayo 2012.
- [Coito et al., 2005] Coito, F., Almeida, P., Palma, L. B., 2005. SMCRVI—A labview/MATLAB based tool for remote monitoring and control, in Proceedings 10th IEEE ETFA, Catania, Italy, Sep. 19–22, 2005, p. 1084.
- [Colton et al., 2004] Colton, C. K., Knight, M. Q., Khan, R., West, R., 2004. “A web accessible heat exchanger experiment” in INNOVATIONS 2004: World Innovations in Engineering Education and Research.
- [Conde, 2004] Conde, M., 2004. Properties of aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: formulations for use in air conditioning equipment design. International Journal of Thermal Sciences (43) 4.
- [Cooper, 1998] Cooper, V., 1998. Occupancy Comfort and Energy Consumption in Naturally Ventilated and Mixed Mode Office Buildings, PhD thesis, UMIST.
- [Coquard et al., 2007] Coquard, P., Guillemot, M., Noterman, D., Leleve, A., Benmohamed, H., 2007. “Remote laboratories: AIP-Primeca RAO platform,” in Proc. 2nd ICDIM, Oct. 28–31, 2007, vol. 2, pp. 762–767.
- [Corrado et al., 2006] Corrado, A., Fiorini, P., Sciubba, E., 2006. Environmental assessment and extended exergy analysis of a “zero CO₂ emission”, high-efficiency steam power plant, Energy 31, 3186–3198.
- [Costas et al, 2008] Costas, L., Lago, D., Farina, J., Rodriguez, J. J., 2008. Optimization of an industrial sensor and data acquisition laboratory through time sharing and remote access, IEEE Transactions on Industrial Electronics 55(6), 2397–2404.
- [Counce et al., 2008] Counce, R. M., Bienkowski, P. R., Singh, S. P., Randolph, J. D., Jubin, R. T., Lewis, B. E., Markel, L. C., Reimer, R. A., Murphree, B. E., Heckrotte, R. A., Anderson, B. W., 2008. University partnerships with industry and government, International. Journal of Engineering Education 24(3), 480–487.
- [CTE, 2007] Código Técnico de la Edificación, 2007. Limitación de la demanda Energética, Ministerio de Ciencia e Innovación 2007. <http://www.codigotecnico.org/web/>, acceso Mayo 2012.

- [Cudahy and Dreessen, 1996] Cudahy, M., Dreessen, T., 1996. A review of the ESCO industry in the United States. National Association of Energy Service Companies, Washington, DC.
- [Cuvelier and Sommereyns, 2009] Cuvelier, P., Sommereyns, P., 2009. Proof of concept smart metering, in: Proc. International Conference and Exhibition on Electricity Distribution 2009, 1–4.
- [Dagdas et al, 2005] Dagdas, A., Ozturk, R., Bekdemir, S., 2005. Thermodynamic evaluation of Denizli Kizildere geothermal power plant and its performance improvements, *Energy Conversion and Management* 46, 245–256.
- [Das, 2009] Das, V., 2009. Wireless communication system for energy meter reading, in: Proc. International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing 2009, 896–8.
- [Datta and Sass, 2007] Datta, K., Sass, R., 2007. RBoot: Software infrastructure for a remote FPGA laboratory, in Proc. 15th IEEE FCCM, Apr. 23–25, 2007, pp. 343–344.
- [Dayton et al., 1998] Dayton, D., Goldman, C., Pickle, S., 1998. The Energy Services Company (ESCO) industry: analysis of industry and market trends.
- [de Alamo et al., 2002] de Alamo, J. A., Hardison, J., Mishuris, G., Brooks L., McLean, C., Chan, V., Hui, L., 2002. Educational experiments with an online microelectronics characterization laboratory, in Proc. Int. Conf. Eng. Educ., Manchester, U.K., Aug. 18–22, 2002.
- [de Dear and Brager, 2002] de Dear, R., Brager, G., 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55, *Energy Build* 34(6), 549–61.
- [de Dear, 1998] de Dear, R., 1998. A global database of thermal comfort field experiments, *ASHRAE Trans* 104(1), 1141–52.
- [Depuru et al., 2010] Depuru, S., Wang, L., Devabhaktuni, V., 2010. A conceptual design using harmonics to reduce pilfering of electricity, in: IEEE PES General Meeting 2010, 1–7.
- [Design Builder, 2012] Design Builder, 2012. <http://www.designbuilder.co.uk/>, acceso Enero 2012
- [Di Adamo, 2008] Di Adamo, J., 2008. SIP: the clear choice for smart grid communications.
http://www.smartgridnews.com/artman/publish/TechnologiesStandards_News/SIP_The_Clear_Choice_for_Smart_Grid_Communications-604.html, acceso Mayo 2012.

- [DOE, 2009] The U.S. Department of Energy, 2009. Technology providers, www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/TechnologyProviders.pdf, acceso Marzo 2012.
- [Doherty and Arens, 1988] Doherty, T.J., Arens, E., 1988. Evaluation of the Physiological Bases of Thermal Comfort Models, ASHRAE Trans. 94(1).
- [Donzellini et al., 2007] Donzellini, G., Ponta, D., 2007. A simulation environment for e-learning in digital design, IEEE Transactions on Industrial Electronics 54(6) 3078–3085.
- [Du Bois and E.F, 1916] Du Bois, D. and E.F., 1916. A Formula to Estimate Approximate Surface Area, if Height and Weight are Known, Archives of internal Medicine 17.
- [El Medany, 2008] El Medany, W. M., 2008. FPGA remote laboratory for hardware e-learning courses, in Proc. IEEE Region 8 Int. Conf. Comput. Technol. Elect. Electron. Eng., SIBIRCON, Jul. 21–25, 2008, pp. 106–109.
- [Energy Vortex, 2009] Energy Vortex. Energy dictionary, 2009. www.energyvortex.com/energydictionary/blackout_brownout_brown_power_rolling_blackout.html, acceso Marzo 2012.
- [EnergyPlus, 2010.] EnergyPlus, 2012. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>, acceso Mayo 2012.
- [EPA, 2009] EPA, 2009, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool roofs. Available at: <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>, acceso Enero 2012.
- [EPA, 2009] EPA, 2009. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics. <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>, acceso Diciembre 2011.
- [EPRI, 1995] EPRI Report, 1995. Proof of the principle of the solid-state transformer: the AC/AC switch mode regulator, EPRI TR-105067, Research Project 8001-13, Final Report.
- [EURYDICE, 2010a] Resumen descriptivo de los sistemas educativos europeos y las reformas en curso, 2010. http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/eurybase/national_summary_sheets/047_ES_ES.pdf, acceso Febrero 2012.
- [EURYDICE, 2010b] Organización del sistema educativo español, 2010. http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/eurybase/eurybase_full_reports/ES_ES.pdf, acceso Febrero 2012.
- [EURYDICE, 2010c] Estructuras de los sistemas educativos y de educación en Europa: España, 2010.

http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/eurybase/structures/041_ES_ES.pdf, acceso Febrero 2012.

- [Fang et al., 2008] Fang, N., Stewardson, G. A., Lubke, M. M., 2008. Enhancing student learning of an undergraduate manufacturing course with computer simulations, *International. Journal of Engineering. Education* 24(3), 558–566.
- [Fanger, 1967] Fanger, P., 1967. Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basic Comfort Equation, *ASHRE Trans.* 73(2).
- [Fanger, 1970] Fanger, P.O., 1970. *Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen.
- [Fanger, P.O., 1986] Fanger, P., 1986. Radiation and Discomfort, *ASHRAE Journal* February 1986.
- [Faruqui and Malko, 1999] Faruqui, A., Malko, J., 1999. Customer choice: finding value in retail electricity markets. Ed. *Public Utility Reports*.
- [Fayolle et al., 2009] Fayolle, J., Gravier, C., Ates, M., Lardon, J., 2009. Remote laboratories framework: Focus on reusability and security in m-learning situations, *International. Journal of Online Engineering*, 5(3) 19–24.
- [Fernandez et al., 2007] Fernandez, J., Marin, R., Wirz, R, 2007. Online competitions: An open space to improve the learning process, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54(6), 3086–3093.
- [Fernão et al., 2008] Fernão, V., Sousa, L., Amaral, T. G., Marçal, R., 2008. Distance-learning power-system protection based on testing protective relays, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(6), 2433–2438.
- [Ferrater et al., 2009] Ferrater, C., Molas, L., Gomis, O., Lorenzo-Martinez, N., Bayo-Puxan, O., Villafafila, R., 2009. A remote laboratory platform for electrical drive control using programmable logic controllers," *IEEE Transactions on Education* 52(3), 425–435.
- [Ferreira and Cardoso, 2005] Ferreira, J. M., Cardoso, A., 2005. A moodle extension to book online labs, *International Journal of Online Engineering* 1(2).
- [Fjeldly and Shur, 2003] Fjeldly, T. A., Shur, M. S., 2003. *Lab on the Web—Running Real Electronics Experiments via the Internet*, Hoboken Wiley.
- [Fjeldly et al., 2002] Fjeldly, T. A., Strandman, J. O., Berntzen, R., 2002. Lab-on-Web—A comprehensive electronic device laboratory on a chip accessible via Internet, in *Proc. Int. Conf. Eng. Educ.*, Manchester, U.K., 2002.
- [Florides et al., 2003] Florides, G.A., Kalogirou, S.A., Tassou, S.A., Wrobel, L.C., 2003. Design and construction of a LiBr–water absorption machine, *Energy Conversion Management* 44(15), 2483–508.

- [Forsberg et al., 2007] Forsberg et al., 2007. How to Kick Start a Market for EPC. Lessons Learned From a Mix of Measures in Sweden. Swedish Energy Agency, Eskilstuna, Sweden.
- [Founda et al, 2004] Founda, D., Papadopoulos, K., Petrakis, M., Giannakopoulos, C., Good, P., 2004. Analysis of mean, maximum, and minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events, and cold events, *Global and Planetary Change* 44, 27–38.
- [Fountain and Huizenga, 1997] Fountain, M., Huizenga, C., 1997. A Thermal Sensation Prediction Tool for Use by the Profession, *ASHRAE Trans.* 103(2).
- [Fraser, 1996] Fraser, M., 1996. What makes the Canadian ESCO industry unique? *Proceedings of the 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy Efficient Economy, Vol. 10, Washington, DC, pp. 39–45.*
- [Fraser, 2001] Fraser, H., 2001. The importance of an active demand side in the electricity industry, *Electr* 14, 52–73.
- [Gagge et al., 1970] Gagge, A., Stolwijk, J., Nishi, Y., 1970. An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response, *ASHRAE Trans.*, Vol 70(1).
- [García and Rallo, 2005] García, M., Rallo, R., 2005. Towards the integration of remote laboratories into learning management systems, in *Proceedings 10th IEEE ETFA, Catania, Italy, Sep. 19–22, 2005, 1037.*
- [García et al., 2005] García, J., López, D., Orduña, P., 2005. Evolving towards better architectures for remote laboratories: A practical case, *International Journal of Online Engineering* 1(2).
- [Garcia et al., 2007] Garcia, J., Orduña, P., Lopez, D., Hernández, U., Trueba, I., 2007. Remote laboratories from the software engineering point of view, in *Advances on Remote Laboratories and E-Learning Experiences. Bilbao, Spain: Univ. Deusto, Jun. 2007.*
- [Georgilakis, 2007] Georgilakis, P., 2007. Decision support system for evaluating transformer investments in the industrial sector, *J Mater Process Technol* 2181, 307–12.
- [Georgilakis, 2009] Georgilakis, P., 2009. Differential evolution solution to transformer no-load loss reduction problem. *IET Gener, Trans Distrib* 3, 960–9.
- [Gerwen et al., 2008] Gerwen, R., Jaarsma, S., Wilhite, R., 2008. Smart metering. http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/435, acceso Enero 2011.
- [Gerwen et al., 2011] Gerwen, S., Jaarsma, R., Wilhite, 2011. Smart metering. http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/435, Acceso Mayo 2012.

- [Goldman and Dayton, 1996] Goldman, C., Dayton, D., 1996. Future prospects for ESCOs in a restructured electricity industry. Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study, American Council for an Energy-Efficient Economy, Vol. 10, Washington, DC, pp. 59–69.
- [Goldman et al., 2002] Goldman, C., Osborn, J., Hopper, N., Singer, T., 2002. Market trends in the US ESCO industry: results from the NAESCO Database Project. LBNL-49601. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- [Gomes and Bogosyan, 2009] Gomes, L., Bogosyan S., 2009. Current Trends in Remote Laboratories, IEEE Transactions on Industrial Electronics 56(12), 4744, 4756.
- [Gomes et al, 2007] Gomes, L., Coito, F., Costa, A., Brito Palma, L., 2007. Teaching, learning, and remote laboratories, in Advances on Remote Laboratories and E-Learning Experiences. Bilbao, Spain: Univ. Deusto, Jun. 2007.
- [Gomes et al., 2007] Gomes, L., Garcia-Zubia J., 2007. Advances on Remote Laboratories and E-Learning Experiences”, Deusto University.
- [Gomes, 2005] Gomes, L, 2005. Programmable logic devices supporting embedded system design curriculum, in Proc. 31st IEEE IECON, Nov. 6–10, 2005, pp. 2174–2179.
- [Gomis et al., 2006] Gomis, O., Montesinos, D., Galceran, S., Sumper, A., and Sudrià, A., 2006. A distance PLC programming course employing a remote laboratory based on a flexible manufacturing cell, IEEE Transactions on Education 49(2), 278–284.
- [Gong, 2007] Gong, G., Zeng, W., Chang, S., He, J., Li, K., 2007. Scheme-selection optimization of cooling and heating sources based on exergy analysis, Appl Therm Eng 27, 942–50.
- [Google, 2011] Google SketchUp, 2011. <http://sketchup.google.com/>, acceso Mayo 2012.
- [Gottberg et al., 2009] Gottberg et al., 2009. Accelerating Energy Efficiency Improvement in the Public Sector, Using Energy Performance Contracting. Swedish Environmental Research Institute, Stockholm, Sweden.
- [Gravier et al., 2008] Gravier, C., Fayolle, J., Bayard B., Ates M., Lardon J., 2008. State of the art about remote laboratories paradigms—Foundations of ongoing mutations, International Journal Online Engineering 4(1), 19–25.
- [Gunerhan and Hepbasli, 2007] Gunerhan, H., Hepbasli, A., 2007. Exergetic modelling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications, Energy and Buildings 39(5), 509–516.

- [Gunther, 2008] Gunther, E., 2008. NIST conceptual model: overview and evolution, http://www.ietf.org/proceedings/10mar/slides/intar_ea-7.pdf, acceso Mayo 2012.
- [Gurkan et al., 2008] Gurkan, D., Mickelson, A., Benhaddou, D., 2008. Remote laboratories for optical circuits, *IEEE Transactions on Education* 51(1), 53–60.
- [Gustavsson et al., 2006] Gustavsson, I., Zackrisson, J., Åkesson, H., Håkansson, L., Claesson, I., Lagö, T., 2006. Remote operation and control of traditional laboratory equipment, *International Journal of Online Engineering* 2(1), 1–8.
- [Hafner et al., 2006] Hafner, A., Lima, C., Lopes, H., 2006. An electric energy quality meter using hardware reconfigurable computing, in: *Proc. IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications 2006*, 1–6.
- [Hagreaves, 1997] Hagreaves, D. J., 1997. Student learning and assessment are inextricably linked, *European Journal of Engineering Education* 22(4), 401–410.
- [Hamar et al., 2005] Hamar, J., Funato, H., Ogasawara, S., Dranga, O., Tse, C. K., 2005. Multimedia based e-learning tools for dynamic modeling of DC–DC converters, in *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, Dec. 14–17, 2005, pp. 17–22.
- [Hamar et al., 2007] Hamar, J., Jordan, R. K., Nagy, I., Ohsaki, H., 2007. Virtual laboratory for combined solar energy system, in *Proc. Eur. Conf. Power Electron. Appl.*, Sep. 2–5, 2007, pp. 1–8.
- [Han and Lim, 2010] Han, D., Lim, J., 2010. Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and zigbee communication, *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 56, 1403–10.
- [Harada et al., 1996] Harada, K., Anan, F., Yamasaki, K., Jinno, M., Kawata, Y., Nakashima, T., Murata, K. Sakamoto, H., 1996. Intelligent transformer, in: *Proceedings of the 1996 IEEE PESC Conference*, 1337–1341.
- [Hart, 2008] Hart, D., 2008. Using AMI to realize the smart grid, in: *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy 2008*, 1–2.
- [Hart, 2008] Hart, D., 2008. Using AMI to realize the smart grid. In: *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy. 2008*, 1–2.
- [Hasegawa and Azuma, 2008] Hasegawa, R., Azuma, D., 2008. Impacts of amorphous metal-based transformers on energy efficiency and environment, *J Magn Mater* 320, 2451–6.

- [Hasegawa and Azuma, 2008] Hasegawa, R., Azuma, D., 2008. Impacts of amorphous metal-based transformers on energy efficiency and environment, *J Magn Mater* 320, 2451–6.
- [Hassan et al., 2007] Hassan, H., Dominguez, C., Martínez, J.-M., Perles, A., Albaladejo, J., 2007. Remote laboratory architecture for the validation of industrial control applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54(6), 3094–3102.
- [Hassan et al., 2008] Hassan, H., Domínguez, C., Martínez, J.-M., Perles, A., Albaladejo, J., Capella, J.-V., 2008. Integrated multicourse project-based learning in electronic engineering, *International Journal of Engineering Education* 24(3), 581–591.
- [Hassid et al., 2000] Hassid, S., Santamouris, M., Papanikolaou, N., Linardi, A., Klitsikas, N., Georgakis, C., et al., 2000. The effect of the Athens heat island on air conditioning load, *Energy and Buildings* 32, 131–141.
- [Helander and Emami, 2008] Helander, M., Emami, M., 2008. Engineering eLaboratories: Integration of remote access and eCollaboration, *International Journal of Engineering Education* 24(3), 466–479.
- [Henry, 2005] Henry, P., 2005. Interference Characteristics of Broadband Power Line Communication Systems Using Aerial Medium Voltage Wires, *IEEE Communications Magazine* 43(4).
- [Hercog et al., 2007] Hercog, D., Gergic, B., Uran, S., Jezernik, K., 2007. A DSP-based remote control laboratory, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54(6), 3057–3068.
- [Hirst and Kirby, 2001] Hirst, E., Kirby, B., 2001. Retail-load participation in competitive wholesale electricity markets.: Edison Electric Institute.
- [Hu et al., 2008] Hu, W., Liu, G.-P., Rees, D., Qiao, Y., 2008. Design and implementation of web-based control laboratory for test rigs in geographically diverse locations, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(6), 2343–2354.
- [Huba and Simunek, 2007] Huba, M., Simunek, M., 2007. Modular approach to teaching PID control, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54(6), 3112–3121.
- [Huczala et al., 2006] Huczala, M., Lukl, T., Misurec, J., 2006. Capturing energy meter data over secured power line, in: *Proc. International Conference on Communication Technology 2006*, 1–4.
- [Humphreys and Nicol, 1998] Humphreys, M., Nicol, J., 1998. Understanding the adaptive approach to thermal comfort, *ASHRAE Trans* 104(1), 991–1004.
- [Humphreys, 1975] Humphreys, M., 1975. Field studies of thermal comfort compared and applied, *J Inst Heat Vent Eng* 44, 5–27.

- [Humphreys, 1979] Humphreys, M., 1979. The influence of season and ambient temperature on human clothing behaviour. In: Fanger, P., Valbjorn, O., editors, Indoor climate. Copenhagen: Danish Building Research; 1979.
- [Hunt, 1996] Hunt, S., Shuttleworth, G., 1996. Competition and choice in electricity. New York: Wiley.
- [IDAE, 2011a] IDAE. Plan de Energías Renovables 2011- 2020, IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011. <http://www.idae.es/index.php/relcategoria.3839/id.670/re/menu.303/mod.pags/mem.detalle>, acceso Febrero 2012.
- [IDAE, 2011b] IDAE. Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011- 2020, IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011. <http://www.idae.es/index.php/relcategoria.1154/id.663/re/menu.331/mod.pags/mem.detalle>, acceso Febrero 2012.
- [IEA, 2011] International Energy Agency, 2011. CO₂ emissions reach a record high in 2010; 80% of projected 2020 emissions from the power sector are already locked in. <http://www.iea.org>, acceso Diciembre 2011.
- [IEC, 2007] IEC: International Engineering Consortium. On-line education: WPF: the human- machine interfaz. 2007. www.iec.org/online/tutorials/hmi/topic01.asp, acceso Marzo 2012.
- [IEEE, 1999] IEEE Std 802.1Q-199, 1999. IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks.
- [Il-Kwon et al., 2009] Il-Kwon, Y., Nam-Joon, J., Young-II, K., 2009. Status of advanced metering infrastructure development in Korea, in: Proc. Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific. 2009, 1–3.
- [IMF, 2011] IMF. IMF World Economic Outlook (WEO) Update -- Mild Slowdown of the Global Expansion, and Increasing Risks. June 2011. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2011/update/02/index.htm>, acceso Febrero 2012.
- [Indrusiak et al., 2007] Indrusiak, L. S., Glesner, M., Reis, R., 2007. On the evolution of remote laboratories for prototyping digital electronic systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics 54(6), 3069–3077.
- [IPCC, 2007] IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch>, acceso Diciembre 2011.
- [Irrek, 2008] Irrek, W., Topalis, F., Targosz, R., Rialhe, A., Frau, J., 2008. Policies and measures fostering energy-efficient distribution transformers, Report of European Commission Project No EIE/05/056/SI2.419632.
- [Ishida and Ji, 1999] Ishida, M., Ji, J., 1999. Graphical exergy study on single state absorption heat transformer, Appl Therm Eng (19), 1191–206.

- [ISO, 1983] ISO, 1983. Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, DIS 7730, Moderate Thermal Environment.
- [Izquierdo et al., 1996] Izquierdo, M. et al., 1996. Available solar exergy in absorption cooling process, *Solar Energy* 56 (6), 505-511.
- [Jezernik et al., 2008] Jezernik, K., Rojko, A., Hercog, D., 2008. Experimentally oriented remote motion control course for mechatronic students, in *Proc. 34th IEEE IECON*, Nov. 10–13, 2008, pp. 3507–3511.
- [Kang et al., 1999] Kang, M., Enjeti, P., Pitel, I., 1999. Analysis and design of electronic transformers for electric power distribution system, *IEEE Trans. Power Electr.* 14, 1133–1141.
- [Karathodorou et al., 2010] Karathodorou, N., Graham, D.J., Noland, R.B., 2010. Estimating the effect of urban density on fuel demand. *Energy Economics*. 32 (1), 86–92.
- [Kennedy, 1998] Kennedy, B., 1998. *Energy efficient transformers*. New York: McGraw-Hill.
- [Kim et al., 2008] Kim, J., Lee, J., Song, O., 2008. Power-efficient architecture of zigbee security processing, in: *Proc. International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications 2008*, 773–8.
- [Kirschen, 2003] Kirschen, D., 2003. Demand-side view of electricity markets. *IEEE Trans Power Syst* 18, 520–7.
- [Koay et al., 2003] Koay, B., Cheah, S., Sng, Y., Chong, P., Shum, P., Tong, Y., et al., 2003. Design and implementation of bluetooth energy meter, in: *Proc. Fourth International Conference on Information, Communications & Signal Processing 2003*, 1474–7.
- [Kolmos et al., 2008] Kolmos, A., Du, X.-Y., Dahms, M., Qvist, P., 2008. Staff development for change to problem based learning, *International Journal of Engineering Education* 24(4), 772–782.
- [Kong et al., 2009] Kong, S. C., Yeung, Y. Y., Wu, X. Q., 2009. An experience of teaching for learning by observation: Remote-controlled experiments on electrical circuits, *Computers & Education* 52(3), 702–717.
- [Konopacki and Akbari, 2001] Konopacki, S., Akbari, H., 2001. Measured energy savings and demand reduction from a reflective roof membrane on a large retail store in Austin, Lawrence Berkley Laboratory Report No. LBNL-47149, CA.
- [Konopacki et al., 1997] Konopacki, S., Akbari, H., Pomerantz, M., Gabersek, S., Gartland, L., 1997. Cooling energy savings potential of light-colored roofs for residential and commercial build-ings in 11 U.S. metropolitan areas,

- Paper LBNL-39433, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- [Kwak et al., 2003] Kwak, H., Kim, J., Jeon, S., 2003. Exergetic and thermoeconomic analyses of power plants, *Energy* 28, 343-360.
- [Laabidi, 2009] Laabidi, M., Jemni, M., 2009. PBAE: New UML profile based formalism to model accessibility in e-learning systems, *International Journal of Engineering Education* 25(4), 646–654.
- [Labanca, 2010] Labanca, N., 2010. Task2.1: Status and Development of the Energy Efficiency Service Business in 18 EU countries. Available at: [/http://www.changebest.eu](http://www.changebest.eu).
- [Latorre et al., 2009] Latorre, L., Pradarelli, B., Nouet, P., 2009. Integrated circuits testing: Remote access to test equipment for labs and engineering, *International Journal of Online Engineering* 5, 43–50.
- [LBNL, 2011] LBNL Heat Island Group. <http://heatisland.lbl.gov/>. acceso Diciembre 2011.
- [Lee and Lai, 2009] Lee, P., Lai, L., 2009. A practical approach of smart metering in remote monitoring of renewable energy applications, in: *Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting 2009*, 1–4.
- [Leva and Donida, 2008] Leva, A., Donida, F., 2008. Multifunctional remote laboratory for education in automatic control: The CrAutoLab experience, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(6), pp. 2376–2385.
- [Lowe et al., 2009] Lowe, D., Murray, S., Lindsay, E., Liu, D., 2009. Evolving remote laboratory architectures to leverage emerging Internet technologies, *IEEE Transactions on Learning Technologies* 2(3), 1–8.
- [M2M, 2009] M2M Magazine, 2009. Smart grid stimulus funds awarded, Specialty PublishingCo; www.m2mmag.com/news/articles/article.aspx?ID=8028, 2009 acceso Marzo 2012.
- [Ma and Nickerson, 2006] Ma, J., Nickerson, J. V., 2006. Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review, *ACM Computing Surveys* 38(3), 1–24.
- [Macías and Guridi, 2009] Macías M. E., Guridi, E. D., 2009. Emulation of real processes to improve training in automation, *International Journal of Engineering Education* 25(2), 358–364.
- [Maestre, 1990] Maestre, F., 1990. Regulación en el sector eléctrico español. El sistema tarifario. In: *Economistas* 43, 34–44.
- [Mander et al., 2008] Mander, T., Cheung, H., Hamlyn, A., Lin, W., Cungang, Y., Cheung, R., 2008. New network cyber-security architecture for smart

- distribution system operations, in: Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy 2008, 1–8.
- [Manjrekar et al., 2000] Manjrekar, M., Kieferndorf, R., Venkataramanan, G., 2000. Power electronic transformers for utility applications, in: Proceedings of the 2000 IEEEIAS Annual Meeting, 2496–2502.
- [Marchesoni et al., 2002] Marchesoni, M. Novaro, R., Savio, S., 2002. AC locomotive conversion systems without heavy transformers: is it a practicable solution, in: Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1172–1177.
- [Marín et al., 2005] Marín, R., Sanz, P., Nebot, P., Wirz, R., 2005. A multimodal interfaz to control a robot arm via the web: A case study on remote programming, IEEE Transactions on Industrial Electronics 52(6), 1506–1520.
- [Marin et al., 2007] Marin, R., Leon, G., Wirz, R., Sales, J., Claver, J.M., Sanz, P. J., 2007. Remote control within the UJI robotics manufacturing cell using FPGA-based vision, in Proc. Eur. Control Conf., 2007, pp. 1378–1383.
- [Markov, 2006] Markov, D., 2006. Practical evaluation of the thermal comfort parameters, Bulgaria: Technical University of Sofia.
- [Marques et al., 2008] Marques, R., Rocha, J., Rafael, S., Martins, J. F, 2008. Design and implementation of a reconfigurable remote laboratory, using oscilloscope/PLC network for WWW access, IEEE Transactions on Industrial Electronics 55(6), 2425–2432.
- [Martínez and Salcedo., 2008] Martínez, M., Salcedo, J. V., 2008. ProPID: An interactive CAD tool for control education, International. Journal of Engineering Education 24(4), 1191–1198.
- [Martínez, 1991] Martínez, J., 1991. El sector eléctrico en España. In: Presente y futuro del Sector Eléctrico. en IEE, Madrid, Revista de Estudios Económicos 4, 313–472.
- [McMurray, 1970] McMurray, W., 1970. Power converter circuits having a high frequency link, US Patent 3,517,300, June 23, 1970.
- [Meester et al., 2009] Meester, B.D., Dewulf, J., Verbeke, S., Janssens, A., Langenhove, H.V., 2009. Exergetic lifecycle assessment (ELCA) for resource consumption evaluation in the built environment. Build Environ, 44 (1), 11–7.
- [Merritt and Chaitkin, 2003] Merritt, S., Chaitkin, S., 2003. No load versus load loss, IEEE Ind Appl Mag 9, 21–8.
- [Metz, 2007] Metz, B. et al. IPCC: Summary for Policymakers, 2007. Climate Change 2007.

- [Micyt, 2007] RD 1027/2007. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios 2007, Ministerio de Industria, ciencia y tecnología.
- [MINETUR, 2010] Estrategia Integral de Impulso del Vehículo Eléctrico en España, 2010. <http://www.minetur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/documents/estrategiaintegralveh%C3%ADculoelectrico060410.pdf>, acceso Febrero 2012.
- [Mohtar et al., 2008] Mohtar, A., Nedic, Z., Machotka, J., 2008. A remote laboratory for microelectronics fabrication, in Proc. 38th ASEE/IEEE Frontiers Educ. Conf., Saratoga Springs, NY, Oct. 22–25, 2008, pp. S2F-7–S2F-12.
- [Monroy et al., 2006] Monroy, V. M., Calderón, J. D., Miranda, J. C., 2006. Taking the lab into the classroom: Using mobile technology to monitor and receive data from CNC machines, *Journal of Manufacturing Systems* 24(3), 266–270.
- [Munz et al., 2007] Munz, U., Schumm, P., Wiesebrock, A., Allgower, F., 2007. Motivation and learning progress through educational games, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54(6), 3141–3144.
- [Murakoshi and Nakagami, 2003] Murakoshi, C., Nakagami, H., 2003. Present condition of ESCO business for carrying out climate change counter measures in Japan. Proceedings of the 2003 ECEEE Summer Study, European Council for an Energy-Efficient Economy, Paris, France, pp. 885–892.
- [Murakoshi et al., 2000] Murakoshi, C., Nakagami, H., Sumizawa, T., 2000. Exploring the Feasibility of ESCO Business in Japan: Demonstration by Experimental Study. Proceedings of the 2000 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy Efficient Economy, Vol. 5, Washington, DC, pp. 231–241.
- [Myers, 2004] Myers, E., 2004. Effect of ventilation rate and board loading on formaldehyde concentration: a critical review of literature, *Forest Products J* 34(10).
- [Nickel et al., 1981] Nickel, D., Braunstein, H., 1981. Distribution transformer loss evaluation: I –proposed techniques, *IEEE Trans Power Appar Syst* 100, 788–97.
- [Nickel et al., 1981b] Nickel, D., Braunstein, H., 1981. Distribution transformer loss evaluation: II – load characteristics and system cost parameters, *IEEE Trans Power Appar Syst* 100, 798–811.
- [Nochumson, 2002] Nochumson, C., 2002. Considerations in application and selection of unit substation transformers, *IEEE Trans Ind Appl* 38, 778–87.
- [Noguez and Sucar, 2006] Noguez, J., Sucar, L. E., 2006. Intelligent virtual laboratory and project oriented learning for teaching mobile robotics, *International Journal of Engineering Education* 22(4), 743–757.

- [Nordlander and Bales, 2007a] Nordlander, S., Bales, C., 2007. TRNSYS Type 215 – Climatewell 10 Barrel Model Description. SERC 2007; Högskolan Dalarna, Sweden.
- [Nordlander and Bales, 2007b] Nordlander, S., Bales, C., 2007. TRNSYS Type 216 – Climatewell 10 Controller Model. SERC 2007; Högskolan Dalarna, Sweden.
- [NRC, 2008] NRC, 2008. Smart energy meter will not be compulsory. Press release. http://www.nrc.nl/international/article2207260.ece/Smart_energy_meter_will_not_be_compulsory, acceso Mayo 2012.
- [Olesene, 2004] Olesene, B., 2004. A better way to predict comfort, ASHRAE J, August 2004, 20–26.
- [Olivares et al., 2003] Olivares, J., Yilu, L., Canedo, J., Escarela-Perez, R., Driesen, J., Moreno, P., 2003. Reducing losses in distribution transformers. IEEE Trans Power Deliv 18, 821–6.
- [Olivares-Galván et al., 2009] Olivares-Galván, J., Georgilakis, P., Ocon-Valdez, R., 2009. A review of transformer losses. Electr Power Compon Syst 37, 1046–62.
- [Oliver et al., 2007] Oliver, J., Abaitua, J., Díaz, J., Jacob, I., Buján, D., Garaizar, P., Lázaro, L., 2007. Issues in WebLab development: Security, accessibility, collaboration and multilinguality, in Advances on Remote Laboratories and E-Learning Experiences. Bilbao, Spain: Univ. Deusto, Jun. 2007.
- [Olson et al., 2000] Olsson, R., Kaarebring-Olsson M., Jonsson, S., 2000. A Chemical Heat Pump. World Patents Register 2000; WO0037864.
- [Ostertag, 1999] Ostertag, K., 1999. “Transaction Costs of Rising Energy Efficiency”, IEA International Workshop on Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions, 5-7 May, 1999, Washington D.C., USA.
- [Parmesano, 2003] Parmesano, H., 2003. Making every electricity consumer a market participant (putting demand back in the equation), Electr J 16, 72–8.
- [Pascale et al., 2007] Pascale, M., Francois, G., Bernard, R., 2007. “Control validation of D.E.S. systems: Application to remote laboratories,” in Proc. 2nd ICDIM, Oct. 28–31, 2007, vol. 2, pp. 774–779.
- [Pedersen, 2008] Pedersen, K. O. H., Hansen, K. S., Paulsen, U. S., P. Sørensen, 2008. Wind turbine measurement technique—An open laboratory for educational purposes, Wind Energy 11(3), 281–295.
- [Peek et al., 2005] Peek, C. S., Crisalle, O. D., Deâpraz, S., Gillet, D., 2005. The virtual control laboratory paradigm: Architectural design requirements and realization through a DC-motor example, International. Journal of Engineering Education 21(6), 1134–1147.
- [Perles et al., 2008] Perles, A., Albaladejo J., Capella J., Martinez J. M., Hassan H., Dominguez C., 2008. Design and application of a data acquisition card

- simulator for electronic engineering studies, *International. Journal of Engineering Education* 24(4), 825–832.
- [Persiano et al., 2007] Persiano, G. V., Rapuano, S., Zoino, F., Morgarella, A., Chiusolo, G., 2007. Distance learning in digital electronics: Laboratory practice on FPGA, in *Proc. IEEE IMTC*, May 1–3, 2007, pp. 1–6.
- [Petela, 2003] Petela, R., 2003. Exergy of undiluted thermal radiation. *Solar Energy* 74, 469–488.
- [Pfafferott and Herkel, 2007] Pfafferott, J, Herkel, S., 2007. Statistical simulation of user behaviour in low-energy office buildings, *Sol Energy* 81, 676–82.
- [Pires et al., 2008] Pires, V. F., Martins, J. F., Amaral, T. G., 2008. “Web based teaching of electrical drives using a mechanical load simulator,” in *Proc. 34th IEEE IECON*, Nov. 10–13, 2008, pp. 3546–3550.
- [Pleskacz et al., 2008] Pleskacz, W. A., Stopjakova, V., Borejko, T., Jutman, A., Wakanis, A., 2008. DefSim: A remote laboratory for studying physical defects in CMOS digital circuits, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(6), 2405–2415.
- [Poole and Geller, 1997] Poole, Al., Geller, H., 1997. *The Emerging ESCO Industry in Brazil*. American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, DC.
- [Raemsohl and Dudda, 2001] Raemsohl, S., Dudda, C., 2001. Barriers to energy service contracting and the role of standardised measurement and verification schemes as a tool to remove them. *Proceedings of the 2001 ECEEE Summer Study*, European Council for an Energy-Efficient Economy, Vol. 2, Paris, France, pp. 208–218.
- [Rajasekhar et al., 2008] Rajasekhar, Y., Kritikos, W. V., Schmidt, A. G., Sass, R., 2008. Teaching FPGA system design via a remote laboratory facility,” in *Proc. Int. Conf. FPL*, Sep. 8–10, 2008, pp. 687–690.
- [Ramaswamy et al., 2008] Ramaswamy, B., Chen, Y. Q., Moore, K., 2008. Omni-directional robotic wheel—A mobile real-time control systems laboratory, *International. Journal of Engineering Education* 24(1), 92–100.
- [Rasmusson, 1984] Rasmusson, P., 1984. Transformer economic evaluation, *IEEE Trans Ind Appl* 20,355–63.
- [RD1164, 2001] RD 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2001-20850, acceso Enero 2011.
- [Reilly, 2008] Reilly, R., 2008. Guest editorial virtual laboratories: Enhancing deep learning in model-based knowledge domains, *IEEE Transactions on Education* 51(1).

- [Reuters, 2009] Reuters, 2009. Landis+Gyr technology enables full service smart grid coverage. Press release. <http://www.reuters.com/article/idUS191587+31-Mar-2009+PRN20090331>, acceso Mayo 2012
- [Rodríguez et al., 2009] Rodríguez, F. J., Girón, C., Bueno, E. J., 2009. Remote laboratory for experimentation with multilevel power converters, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 56(7), 2450–2463.
- [Ronan et al., 2002] Ronan, E., Sudhoff, S., Glover, S., Galloway, D., 2002. A power electronic based distribution transformer, *IEEE Trans. Power Delivery* 17, 537–543.
- [Rosen and Dincer, 2004] Rosen, M.A., Dincer, I., 2004. Effect of varying dead-state properties on energy and exergy analyses of thermal systems, *International Journal of Thermal Sciences* 43, 121–133.
- [Rosenfeld et al., 1996] Rosenfeld, A., Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H., Romm, J., 1996. Policies to reduce heat islands: magnitudes of benefits and incentives to achieve them, in: *Proc. 1996 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, vol. 9, 1996.
- [Rosenzweig et al., 2003] Rosenzweig, M., Fraser, H., Falk, J., Voll, S., 2003. Market power and demand responsiveness: letting customers protect themselves, *Electr J* 16, 11–23.
- [Rusitschka et al., 2009] Rusitschka, S., Gerdes, C., Eger, K., 2009. A low-cost alternative to smart metering infrastructure based on peer-to-peer technologies, in: *Proc. International Conference on the European Energy Market 2009*, 1–6.
- [Santamouris, 2001] Santamouris, M., (Ed.), 2001. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, James and James Science Publishers, London, 2001.
- [Santamouris, 2007] Santamouris, M., 2007. Heat island research in Europe: the state of the art, *Advances in Building Energy Research* 1, 123–150.
- [Schleich et al., 2001] Schleich, J., Boede, U., Koewener, D., Radgen, P., 2001. Chances and barriers for energy conservation? A comparative analysis for the German brewery and University sectors. *Proceedings of the 2001 European Council for an Energy-Efficient Economy, European Council for an Energy-Efficient Economy, Vol. 2, Paris, France*, pp. 229–240.
- [Shen et al., 1999] Shen, H., Xu, Z., Dalager, B., Kristiansen, V., Strom, O., Shur, M. S., Fjeldly, T. A., Lu, J.-Q., Ytterdal, T., 1999. Conducting laboratory experiments over the Internet, *IEEE Transactions on Education* 42(3), 180–185.

- [Shyr, 2009] Shyr, W.-J., 2009. Internet-based laboratory platform for distance learning in engineering education, *International Journal of Engineering Education* 25(4), 693–700.
- [Siegel and Howell, 2002] Siegel, R., Howell, J., 2002. *Thermal Radiation Heat Transfer*, fourth ed., Taylor and Francis, New York.
- [Singaraju et al., 2006] Singaraju, T., Turan, A., Gokasan, M., Bogosyan, S., 2006. Hardware-in-the loop simulation of PUMA 560 via Internet, in *Proc. 32nd IEEE IECON*, Nov. 6–10, 2006, pp. 5426–5432.
- [Son, et al., 2010] Son, Y., Pulkkinen, T., Moon, Y., Kim, C., 2010. Home energy management system based on power line communication. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* August 56, 1380–6.
- [Soumare et al., 2009] Soumare, H., Shroff, R., Hardison, J. L., del Alamo, J. A., Judson Harward, V., Bailey, P. H., DeLong, K. K. , 2009. A versatile Internet accessible electronics workbench with troubleshooting capabilities, *International Journal of Online Engineering* 5(SI1), 72–80.
- [Spanik et al., 2006] Spanik, P., Hargas, L., Hrianka, M., Kozehuba, I., 2006. Application of virtual instrumentation LabVIEW for power electronic system analysis, in *Proc. 12th Int. Power Electron. Motion Control Conf.*, Aug. 2006, pp. 1699–1702.
- [Su, 2011] Su, Q., 2011. The effect of population density, road network density, and congestion on household gasoline consumption in U.S. urban areas. *Energy Economics*. 33 (3), 445–452.
- [Sumper et al., 2007] Sumper, A., Villafila-Robles, R., Molas-Balada, L., Gomis-Bellmunt, O., Lopez-Botella, S., Ambrona-Gonzalez, R., 2007. Power quality education using a remote monitoring laboratory, in *Proc. 9th EPQU*, Oct. 9–11, 2007, pp. 1–6.
- [Synnefa et al., 2008] Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., Soulakellis, N., 2008. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47.
- [Taha, 1997] Taha, H., 1997. Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin, *Atmospheric Environment* 31, 1667–1676.
- [Taha, 1997] Taha, H., 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, *Energy and Buildings* 27, 99–103.
- [Taha, 2005] Taha, H., 2005. Urban surface modification as a potential ozone air quality improvement strategy in California – phase one: initial mesoscale modeling, Altostratus Inc. for the California Energy Commission, PIER Energy-related Environmental Research Rep. CEC-500-2005-128, 2005.

- [Tanoto et al., 2005] Tanoto, A., Witkowski, U., Ruckert, U., 2005. Teleworkbench: A teleoperated platform for multirobot experiments, in Proc. AMiRE, Sep. 21–22, 2005, pp. 49–54.
- [Tanoto et al., 2009] Tanoto, A., Rückert, U., Witkowski, U., 2009. Teleworkbench: A teleoperated platform for experiments in multi-robotics, in Web Based Control and Robotics Education, vol. 38. New York: Springer-Verlag, 2009, ser. International Series on Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, ch. 12, pp. 267–296.
- [Targosz, 2005] Targosz, R. 2005. The potential for global energy savings from high energy efficiency distribution transformers. Leonardo Energy. <http://www.leonardoenergy.org/repository/Library/Reports/Transformers-Global.pdf>, acceso Enero 2011.
- [Temeltas et al., 2006] Temeltas, H., Gokasan, M., Bogosyan, S., 2006. Hardware in the loop robot simulators for on-site and remote education in robotics, International. Journal of Engineering Education 22(4), 815–828.
- [Torio and Schmidt, 2008] Torio, H., Schmidt, D., 2008. Exergetic assessment and contribution of solar energy systems to the energy performance of buildings, in: Proceedings of the Nordic Symposium of Building Physics (2) Copenhagen, Denmark, 637–644.
- [Torres et al., 2006] Torres, F., Candelas, F. A., Puente, S. T., Pomares, J., Gil, P., Ortiz, F. G., 2006. Experiences with virtual environment and remote laboratory for teaching and learning robotics at the University of Alicante, International. Journal of Engineering Education 22(4), 766–776.
- [Tozer and James, 1997] Tozer, R.M., James, R.W., 1997. Fundamental thermodynamics of ideal absorption cycles, Int J Refrigeration 20(2), 120–35.
- [Turan et al., 2006] Turan, A., Bogosyan, S., Gokasan, M., 2006. Development of a client–server communication method for MATLAB/ simulink based remote robotics experiments, in Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., Jul. 9–13, 2006, vol. 4, pp. 3201–3206.
- [Tzafestas et al., 2005] Tzafestas, C. S., Palaiologou, N., Alifragis, M., 2005. Experimental evaluation and pilot assessment study of a virtual and remote laboratory on robotic manipulation, in Proc. IEEE ISIE, Jun. 20–23, 2005, vol. 4, pp. 1677–1684.
- [Tzafestas, 2009] Tzafestas, S. G., 2009. Web-Based Control and Robotics Education, International Series on Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering 38.
- [UN, 1997] United Nations. United Nations framework convention on climate change. Kyoto Protocol, Kyoto 1997.
- [UNHCR, 2012] Office of the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 2012. <http://www.unhcr.org>, acceso Mayo 2012.

- [Vad Mathiesen et al., 2011] Vad Mathiesen, B., Lund, H., Karlsson, K., 2011. 100% renewable energy systems, climate mitigation and economic growth, *Appl Energy* 88, 488–501.
- [Venkataramanan et al., 1996] Venkataramanan, G., Johnson, B., Sundaram, A., 1996. An ac–ac power converter for custom power applications, *IEEE Trans. Power Delivery* 11, 1666–1671.
- [Viessmann, 2009] Viessmann 300-F, 2009 <http://www.viessmann.com>, acceso Junio 2011.
- [Vine and Sathaye, 2000] Vine, E., Sathaye, J., 2000. The monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of energy-efficiency projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5 (2), 189–216.
- [Vine et al., 2003] Vine, E., Nakagami, H., Murakoshi, C., 1999. The evolution of the US energy service company (ESCO) Industry: from ESCO to super ESCO. *Energy – The International Journal* 24 (6), 479–492.
- [Vojdani, 2008] Vojdani, A., 2008. Smart integration, *IEEE Power & Energy Magazine* November (6), 71–9.
- [Vojdani, 2008] Vojdani, A., 2008. Smart integration. *IEEE Power & Energy Magazine* November 6,71–9.
- [Wang and Liu, 2008] Wang, S. C., Liu, Y. H., 2008. Software-reconfigurable e-learning platform for power electronics courses, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(6), 2416–2424.
- [Westling, 2003] Chebbo M. EU smart grids framework: electricity networks of the future 2020 and beyond. In: *Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting*. 2007.p. 1–8.
- [Westling, 2003] Westling, H., 2003a. Performance contracting. Summary report from the IEA DSM Task X within the IEA DSM implementing agreement. International Energy Agency, Paris, France.
- [Wu et al., 2008] Wu, M., She, J. H., Zeng, G. X., Ohyama, Y., 2008. Internet-based teaching and experiment system for control engineering course, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(6), 2386–2396.
- [Wulff and Ytterdal, 2002] Wulff, C., Ytterdal, T., 2002. Programmable analog integrated circuit for use in remotely operated laboratories, in *Proc. Int. Conf. Eng. Educ.*, Manchester, U.K., 2002.
- [Wulff et al., 2002] Wulff, C., Ytterdal, T., Sæthre, T. A., Skjelvan, A., Fjeldly, T. A., Shur, M. S., 2002. Next generation lab—A solution for remote characterization of analog integrated circuits, in *Proc. 4th IEEE Int. Caracas Conf. Devices, Circuits Syst.*, 2002, pp. I024-1–I024-4.
- [Yan et al., 2006] Yan, Y., Liang, Y., Du, X., Hassane, H. S., Ghorbani, A., 2006. Putting labs on-line with web services, *IEEE IT Professional* 8(2), 27–34.

- [Zhang and Wei, 2010] Zhang, Y., Wei, Y., 2010. An overview of current research on EU ETS: evidence from its operating mechanism and economic effect, *Appl Energy* 87, 1804–14.
- [Zirngibl and Francois, 2002] Zirngibl, J., Francois, C., 2002. Exergy analysis tool, various contributions, Internal working documents IEA Annex 37. Paris, France: CSTB.

ANEXO I: CURRICULUM VITAE

DAVID BORGE DIEZ



FORMACIÓN ACADÉMICA

- **Doctorando: Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control.**
UNED, 2008-Actualidad
- **Máster Oficial Investigación de Tecnologías Industriales, Especialidad Energética.**
UNED, Año 2008-2010.
- **Ingeniería Industrial, especialidad en Energética.**
Universidad de Valladolid. Año 2005-2007.
- **Ingeniero Técnico Industrial.**
Especialidad: Estructuras e Instalaciones Industriales. Universidad de León. Año 2001-2005.

FORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- **Master en Prevención de Riesgos Laborales. Especialidad Seguridad en el Trabajo.** Instituto Madrileño de Formación, Madrid, España. Septiembre de 2005. Título Oficial de **Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales**, especialidad Seguridad en el Trabajo.
- **Master en Gestión de Medio Ambiente.** Instituto Madrileño de Formación, Madrid, España. Diciembre de 2006.
- **Auditor Interno ISO 14001:2004.** Bureau Veritas, Madrid, España. Diciembre de 2006.
- **Gestión de Calidad.** European Quality Formation, Gijón, España. Noviembre de 2007.
- **Proyectista de Energía Solar.** CENSOLAR, Sevilla, España. Julio de 2005.
- **Proyectos de Climatización.** Colegio de Ingenieros Industriales de Madrid, España. Mayo de 2008.
- **Certificación Energética en edificios, herramientas LIDER Y CALENER.** EREN, León, España. Mayo 2008.
- **Formador de Formadores en Certificación Energética en Edificios, herramientas LIDER Y CALENER.** EREN, IDAE, APPLUS. León, España. Septiembre-Octubre 2008.
- **Cumplimiento del CTE: Aspectos técnicos de los documentos DB-HR.** Madrid, España. Septiembre- Noviembre 2008.
- **Programación aplicaciones .NET.** León, España. Septiembre-Octubre 2008.
- **Gestión de Proyectos Informáticos.** León-Valladolid, España. Septiembre-Octubre 2008.
- **Norma UNE 216301:2007.** Sesión formativa ON LINE, UNIÓN FENOSA. Octubre 2008.
- **Curso Superior en Gestión de Innovación para la Mejora de la Competitividad Empresarial.** Universidad Politécnica de Madrid, ESIN Consultores. Julio 2009.
- **Curso Superior de Biomasa-Observatorio de la Biomasa-Fundación Cartif.** Centro Tecnológico CARTIF, Observatorio de la Biomasa, Diciembre 2009.
- **Organización del Trabajo.** IFES Formación, Junio 2010.
- **Implantación LOPD.** ILDEFE, Octubre 2010.
- **Formación en Empresas de Servicios Energéticos-EOI.** EOI-Escuela de Organización Industrial, 2011.
- **European Energy Manager (EUREM).** EU Comission, cursando actualmente.

IDIOMAS

Castellano: Lengua materna.

Inglés: Nivel alto oral. Nivel alto escrito. Nive alto Inglés Técnico.

- F.C.E., convocatoria de Diciembre 2007.
- Título 3º Inglés Escuela Oficial de Idiomas.
- Curso Inglés Avanzado TELF Centre Queen's University of Belfast, año 2002.
- Embassy CES Oxford, Standard English Course. Julio 2007.
- Estancia Oxford, Inglaterra.

PREMIOS

- **Ganador Concurso Iniciativas Empresariales en Transporte y Energía** promovido por CIDAUT, edición 2006: Plan de negocio consultora energética aprovechamiento de Energías Renovables en explotaciones agropecuarias de Castilla y León.
- **Premio Proyecto de Fin de Carrera sobre Energías Renovables Cátedra de Energías Renovables Universidad de Valladolid:** investigación sobre nuevas tecnologías de aprovechamiento de la Biomasa.

ACTIVIDAD INVESTIGADORA

PUBLICACIONES

- **Exergy efficiency analysis in buildings climatized with LiCl-H₂O solar cooling systems that use swimming pools as heat sinks.** D. Borge, A. Colmenar, M. Castro, S. Martín, E. Sancristobal. Energy and Buildings, volume 43-11, November 2011, Pages 3161-3172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.014>. IF-2,041 (Q1- CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY).
- **Passive climatization using a cool roof and natural ventilation for Internally Displaced Persons in hot climates: Case study for Haiti.** D. Borge, A. Colmenar, C. Pérez, M. Castro. Building and Environment, In Press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.013>. IF-2,400.
- **Kynetic study of the biomass devolatilization process in particles sizes between 2-19 mm by means of thermogravimetric analysis.** D. Borge, J.F. Bayer, A. Melgar. Revista DYNA Universidad Nacional de Colombia, EDICIÓN 155 - Julio de 2008, VOLUMEN 75, ISSN 0012-7353. Artículo sobre nuevas tecnologías de aprovechamiento de la Biomasa.
- **Telegestión y Cooperación al Desarrollo, binomio de futuro en Energías Renovables.** David Borge autor único. Revista DYNA Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España Revista DYNA, Noviembre 2008, volumen 83, número 3.
- **Aproximaciones teórico experimentales del proceso de gasificación de biomasa.** Juan F. Pérez, David Borge, John R. Agudelo. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquía, Marzo 2010, número 52.

ESTANCIAS EN CENTROS DE INVESTIGACIÓN

- **Área de Motores y Energías Renovables (MYER) Universidad de Valladolid** Desarrollo del Proyecto de Fin de Carrera sobre Estudio Termogravimétrico de Devolatilización de Biomasa.

ASISTENCIA A CONGRESOS

- **Virtual Lab platform for distance learning courses in engineering technologies for the use of renewable energies.** Antonio Molina Bonilla, Antonio Colmenar Santos, Manuel Castro Gil, David Borge Diez, Jesús Vazquez Espierrez. **Proceedings of the 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON).** Marrakech, 17-20 Abril, 2012
- **"Thermal lab" Una herramienta educativa en el entorno de las energías renovables.** Antonio Molina Bonilla, Antonio Colmenar Santos, Manuel Castro Gil, David Borge Diez, José Carpio Ibáñez. **XV Congreso Ibérico y X Iberoamericano de Energía Solar.** Vigo, España. 19-22 Junio 2012
- **Current Situation, Technologies and Suggestions for Improvement the Treatment of Sludge from WWTP in the Regional Park of "Picos de Europa".** A. González, J. Blanes, D. Borge, S. Prieto. **First International Congress on Water, Waste and Energy Management.** Salamanca, 23-25 Mayo 2012
- **Integration of pressurised irrigation networks managed on-demand in distributed generation systems.** D. Borge, A. González, J. Blanes. **First International Congress on Water, Waste and Energy Management.** Salamanca, 23-25 Mayo 2012

BECAS DE INVESTIGACIÓN

- **Beca I+D+i "Aplicaciones Web para el ahorro y la eficiencia energética en edificios sobre protocolos KNX y DLMS".** Centro para el Desarrollo de las Telecomunicaciones de Castilla y León (CEDETEL). Septiembre 2008-Diciembre 2008

- **Investigador Programa “Torres Quevedo”.** Investigación sobre algoritmos de control para sistemas energéticos basados en la minimización de CO₂. Empresa receptora Simelec S.L. **Ministerio de Ciencia e Innovación.** Mayo 2009-Julio 2010

EXPERIENCIA PROFESIONAL

- **Septiembre 2011-Actualidad: Empresa consultoría. Director área I+D+i y Energía.** Responsable línea de negocio ESE (Servicios Energéticos). Dirección técnica en la empresa proyecto de I+D+i **INNPACTO DEPOLIGEN** para reducción de Consumo Energético en Edificios (Iberdrola, Ciemat, Tecopy, Inzamaz, USAL, ITX).
- **Enero 2011-Actualidad: Empresa Energía Honduras. Consultor técnico área de Análisis y Eficiencia Energética.** Realización de auditorías energéticas, estudios de viabilidad para implantación de sistemas de mejora de la eficiencia energética, sistemas HVAC eficientes. Estudios y propuestas de reducción de costes, proyectos eléctricos.
- **Septiembre 2010-Actualidad: Empresa de gestión energética. Responsable de Área de Análisis Energético.** Realización de auditorías energéticas, estudios de viabilidad, análisis energético en tiempo real y optimización energética. Proyectos de Energías Renovables.
- **Junio 2009-Julio 2011: Labor de Consultoría Energética Internacional en Chile** en Eficiencia Energética, Energías Renovables y sistemas de huella de Carbono.
- **Mayo 2009-Julio 2010: Empresa área electricidad y energía. Investigador principal Programa Torres Quevedo Ministerio de Ciencia e Innovación** para inclusión investigadores en empresa privada. Proyecto de I+D+i en el área de eficiencia energética.
- **Enero 2008-Julio 2010: Empresa área electricidad y energía.** Ingeniero de proyectos energéticos. Labores de proyecto en Energías Renovables, consultoría energética y eléctrica. Ingeniero de I+D+i. Contratado en **modalidad indefinida.**
- **Agosto 2008-Diciembre 2009: Empresa área electricidad y energía.** Programa de I+D+i de la **Junta de Castilla y León (ADE)** para la promoción de proyectos de I+D+i en empresas del sector TIC. Proyecto de Investigación “Desarrollo de herramientas vía Web para mejora de eficiencia energética de edificios basadas en protocolos KNX y DMLS”. Métodos de **integración de Energías Renovables** en el sector terciario y desarrollo de algoritmos de optimización.
- **Septiembre 2006-Diciembre 2007: Área MYER (Motores y Energías Renovables) de la Universidad de Valladolid:** Investigación sobre gasificación de Biomasa, colaboración directa con **CIDAUT.**

EXPERIENCIA DOCENTE E IMPARTICIÓN CONFERENCIAS

- **Diciembre 2011. UNED. Energía geotérmica de baja entalpía.**
- **Octubre 2011. Universidad de León. Instalaciones geotérmicas de media y alta entalpía.**
- **Septiembre 2011. Universidad de León. Instalaciones geotérmicas de baja entalpía.**
- **Febrero 2011. Universidad de León. Instalaciones geotérmicas de baja entalpía.**
- **Enero 2011-Actualidad. Universidad de León: Profesor Asociado 5 horas.**
- **Diciembre 2010-Actualidad. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Curso Experto Profesional Energía de la Biomasa.**
- **Diciembre 2010-Actualidad. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Máster en Energías Renovables y Sistema Eléctrico.**
- **Diciembre 2010. Universidad de León.**
- **Septiembre 2010. Ayuntamiento de León.**
- **Mayo 2010. Universidad de León.**
- **Enero 2010-Septiembre 2011: FOCYL S.L.**
- **Mayo 2009-Septiembre 2009: TALENTIC S.L. Formador Máster Energías Renovables.**
- **Agosto 2008-Diciembre 2010: ALFA ESTUDIOS INGENIERÍA DE PROYECTOS S.L. Formador carnet profesionales.**
- **Mayo 2009-Julio 2010: SIMELEC S.L. Formador Certificación Energética en Edificios y Eficiencia Energética.**