

# APLICACIÓN MULTIMEDIA PARA LA ENSEÑANZA DE LOS SENSORES DE CAUDAL

J. MARCOS, J.M. VILAS, L. SECO Y C. QUINTÁNS

Departamento de Tecnología Electrónica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.  
Universidad de Vigo. España

*En este documento se presenta una aplicación multimedia que tiene como objetivo facilitar la formación en sensores de caudal. La aplicación presenta los distintos principios físicos utilizados en este tipo de medidas, así como características y modos de operación de diversos tipos de sensores de caudal. Se incluyen procedimientos de cálculo, aplicaciones, características técnicas dadas por los fabricantes, enlaces a páginas web de éstos y un apartado de autoevaluación.*

## 1. Introducción

La utilización de las nuevas tecnologías en la enseñanza para la mejora de los resultados docentes se incrementa de forma progresiva, consecuencia de la necesidad de implantar métodos de aprendizaje que puedan facilitar la adquisición de conocimientos, tanto a los alumnos como a los técnicos en general. La contribución de las herramientas software al incremento del nivel de conocimientos de los alumnos es de gran ayuda para lograr una formación más completa. Este concepto es aplicable a la formación de los futuros ingenieros y, en particular a aquellos relacionados con asignaturas de electrónica. La existencia de aplicaciones multimedia para simular estados de funcionamiento de dispositivos electrónicos, animar procesos, explicar conceptos de física aplicada a la técnica, o documentar con catálogos y accesos a páginas Web de fabricantes de productos, es muy interesante para lograr la aproximación de los estudiantes al conocimiento del estado tecnológico actual y de los conceptos teóricos en los que éste se basa.

Uno de los campos en los que se detectan carencias en la formación de los ingenieros es el conocimiento de dispositivos de detección, sensores, automatismos, sistemas electrónicos [1] o elementos auxiliares destinados a implementar sistemas de control de procesos. Aunque los elementos expresados abarcan un ingente conjunto de productos y sistemas, es necesario familiarizar a los alumnos con parte de ellos. La realidad actual es que este conocimiento, que no debe sustituir a otros conocimientos teóricos tradicionales, se adquiere en gran medida por la actividad profesional posterior. A pesar de que dicha actividad aporta experiencia y conocimiento imposible de asumir en las aulas, es posible una mejora en la formación universitaria relacionada, entre otros campos, con la electrónica, la automática y la electricidad. Por estos motivos el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Vigo ha iniciado un proceso de creación de diversas herramientas de este tipo relacionadas con la formación en sensores [3], [4], [5], [6], [7], [12] y electrónica de potencia [8], [9].

Los sensores de caudal [1] están formados por un grupo muy heterogéneo de modelos que se diferencian, tanto por la variedad en el principio físico en el que se basan para realizar las medidas, como por las aplicaciones a las que se adaptan. El caudal, junto con la temperatura se asocian frecuentemente a los procesos continuos y son las magnitudes más medidas en la industria, lo que también nos ha motivado para del desarrollo de esta aplicación.

## 2. Software de apoyo a la docencia

La buena formación de los futuros ingenieros es una tarea de gran responsabilidad para las universidades en las que estos adquieren los conocimientos con los que van a iniciar su actividad profesional. La mejora de esta calidad en la enseñanza abarca muchos aspectos, unos relacionados con los recursos técnicos (equipos informáticos, laboratorios, material de prácticas, etc.), otros están condicionados por los temarios impartidos en las distintas asignaturas y el nivel de exigencia en la

evaluación de las mismas, pero en gran medida también existe el condicionante que implica la forma de explicar los conceptos. Es decir, en gran medida los alumnos reciben los conocimientos en función de la formación de cada profesor, de su metodología de explicación, y de aspectos psicológicos relacionados con la motivación y el interés que en ellos provocan los temas a estudiar. Es evidente que la metodología con la que se desarrollan las tareas docentes condiciona de forma directa el nivel de conocimiento de los alumnos en un determinado tema, con lo cual toda mejora en la aplicación de nuevas técnicas para la motivación y la mejora en el entendimiento de conceptos, así como para el conocimiento de las nuevas soluciones técnicas que aporta el mercado, es un gran reto en la enseñanza del futuro.

El cumplimiento de algunos de estos objetivos iniciales se cubren con el desarrollo de la herramienta multimedia que se presenta a través de esta comunicación (ej. de aspecto externo en la Fig. 1). También se pretenden cubrir algunos otros temas secundarios relacionados con lo anterior, como son la revisión del estado actual de la técnica en cuanto a este tipo de sensores, la revisión de las tendencias y soluciones de futuro, aspectos relacionados con la experiencia de profesionales del sector y desarrollo de teoría de mecánica de fluidos.



Figura 1. Pantalla ejemplo de la aplicación.

Desde hace varios años en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Vigo se desarrollan herramientas con una clara orientación a la mejora en la formación de los ingenieros, en especial la de aquellos que reciben enseñanza en las ramas de electrónica, electrotecnia y telecomunicaciones. Sin embargo, el ámbito de aplicación de las citadas herramientas es mayor, ya que ha sido planteado para satisfacer necesidades de conocimiento de otros ingenieros que necesiten revisar información sobre los temas que se desarrollan, o incluso aquellos técnicos poco expertos que busquen respuesta de forma teórica a cuestiones concretas o una rápida guía de ayuda en la automatización de un sistema. El resultado que se describe es el de la creación de una aplicación denominada “Sistema multimedia para la enseñanza de los sensores de caudal”, enmarcada en una línea de trabajo que ya ha contribuido con otras aplicaciones en el campo de los sensores electrónicos [12] con resultados muy positivos. Precisamente, uno de los principales avales para la defensa de este tipo de software se encuentra en la valoración positiva que ha recibido en un estudio realizado entre los alumnos a los que se les facilitaron las herramientas anteriores, que se enfocan en aplicaciones de electrónica de potencia [8],[9] y en sensores de proximidad [12]. El nivel de aceptación logrado en las aplicaciones anteriores es positivo y refuerza las ideas con las que se ha iniciado este trabajo de desarrollo.

### 3. Desarrollo

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, se ha diseñado una aplicación software en la que se analizan en profundidad los distintos tipos de sensores de caudal. La finalidad y la temática de la

aplicación condicionan su estructura, que presenta las siguientes partes o bloques temáticos: Introducción, Tipos, Aplicaciones, Características técnicas, Señales de salida, Fabricantes, Normativa. Cada uno de estos bloques constituye una parte independiente del software, aunque los temas tratados para cada tipo de sensor de caudal son similares y la forma de estudiarlos también es similar en todos ellos. En cada tema, o bloque destinado a explicar cada tipo de sensor, se sigue una estructura que incluye el análisis de los principios físicos en los que se basa la medida de caudal, los modos de operación y funcionamiento del sensor, las características eléctricas, mecánicas y operativas, las aplicaciones típicas, los tipos de salidas eléctricas, estándares y normas, clases de protección, hojas técnicas de fabricantes. Estos conceptos se exponen a través de texto explicativo, con gráficos de ayuda, imágenes, animaciones, simulaciones interactivas en las que el usuario de la aplicación se puede involucrar con facilidad, y vídeos explicativos sobre el funcionamiento y la implantación en la industria de los sensores de caudal (ej. en Fig. 2). También se ofrecen catálogos, hojas de características y se aportan enlaces a páginas Web de fabricantes [13],[14],[15],[16],[17],[18] con el fin de tener información actualizada y real de los productos existentes en el mercado.



Figura 2. Muestra del aspecto de la aplicación principal.

Con el fin de mejorar la navegación a través de la aplicación desarrollada, se aportan diversos elementos auxiliares que permiten acceder a páginas clave dentro del software, abrir aplicaciones de ayuda al usuario y revisar las referencias bibliográficas de interés. La herramienta seleccionada para el diseño de la aplicación es Flash MX [9]; los criterios de selección se han establecido en función de la interactividad, la facilidad de ejecución, las opciones de publicación y las características dinámicas que presentan las aplicaciones desarrolladas con esta herramienta [11]. En este sentido, el primer planteamiento ha sido el desarrollar conceptualmente cómo debía ser la aplicación a desarrollar para satisfacer las necesidades iniciales y poder cumplir eficazmente con la finalidad para la cual se creaba. Por ello, se ha buscado desarrollar un software interactivo, intuitivo, de fácil ejecución, integrable en páginas Web, dinámico, con propiedades de escalabilidad gráfica, y ampliable para futuras actualizaciones. Estas son las principales razones que han determinado la elección de Flash como herramienta de desarrollo. La existencia de otras opciones, como pueden ser lenguajes de propósito general o aplicaciones específicas para simulación [2],[10] (por ej. OOCSMP, DynaMIT) es evidente, pero los motivos anteriormente citados, junto con el aval que aporta la experiencia en el desarrollo de trabajos anteriores exitosos, han determinado esta opción. Otro aspecto de interés en cuanto al desarrollo es la reutilización de estructuras en el proceso de creación de aplicaciones. La experiencia acumulada en este campo permite aprovechar estructuras de programación heredadas de los trabajos que preceden al actual.

Es importante resaltar que uno de los aspectos conceptuales presentes en el diseño, tanto a nivel visual como funcional, ha sido el hecho de que el fin de este software es resultar atractivo y estimulante para el usuario que lo ejecuta, de forma que se pueda cumplir con mayor facilidad la misión de formar. Estas premisas de partida son las que han provocado la elección de Flash MX [11] como la herramienta básica de desarrollo de la aplicación. Flash permite la edición de una aplicación con marcado carácter vectorial (permite fácil adaptación a cualquier marco de presentación en

pantalla), ejecutable desde cualquier navegador (sin necesitar un software de propietario), con características dinámicas e interactivas de cara al usuario, modular, y con la posibilidad de publicación en formato HTML. El resultado es un software completo en el que se estudian los sensores de caudal a través de numerosos elementos de ayuda para su comprensión, como son las animaciones, las simulaciones, las etiquetas dinámicas, los gráficos explicativos o los archivos adjuntos sobre características operativas. El desarrollo de esta aplicación se sitúa en una línea de trabajo marcada por el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Vigo y liderada por un pequeño grupo de profesores pertenecientes al mismo. La colaboración del resto de profesores en esta área se dirige a la revisión de resultados por medio de evaluaciones objetivas y a la integración de las herramientas desarrolladas en la docencia de las asignaturas que imparte este departamento en la Universidad, bien en prácticas de laboratorio, bien como herramienta de apoyo a las clases teóricas.

#### 4. Descripción de la herramienta

La aplicación multimedia que se presenta describe los sensores de caudal existentes en el mercado actual y profundiza en la explicación de los principios físicos en los que éstos basan su método de medida. Se aportan definiciones de los parámetros más importantes en la medida de caudal, se aportan explicaciones de los conceptos más importantes de mecánica de fluidos, se recuerdan unidades y características adimensionales de los líquidos y se simulan modos de operación de los sensores más habituales (ej. en la Fig. 3).

También se aportan datos técnicos necesarios para una correcta utilización o dimensionado de sistemas de medida de caudal, se caracterizan aplicaciones especiales que requieran sensores de algún tipo en particular, y se describen soluciones que algunos fabricantes aportan para situaciones particulares de medida.

Se pretende que el sistema tenga un doble enfoque, teórico y práctico, al que se intenta añadir un grado de conocimiento derivado de la experiencia de profesionales del sector. La idea del enfoque es aunar explicaciones teóricas y soluciones prácticas habituales, para una completa visión del tema de medida de caudal en la industria.



Figura 3. Simulaciones de la herramienta desarrollada.

Para poder abordar esta temática con la doble visión que se introduce, se plantea una aplicación principal dividida en siete bloques o partes principales, cada una de las cuales se desarrolla como tema independiente. A continuación se explican brevemente estas divisiones de la aplicación principal:

- **Introducción.** En esta parte se resumen los conceptos más importantes de mecánica de fluidos, se introducen las unidades de medida de caudal y los parámetros más importantes del proceso de medida, se estudian varias clasificaciones del conjunto de sensores que forman este grupo, y se establecen criterios de clasificación de estos dispositivos en función de las aplicaciones a las que se destinan.

- Tipos. A través de este enlace se accede a cada grupo de sensores de caudal: Presión diferencial (placa de orificio, tobera, tubo Venturi, tubo de Pitot, tubo Annubar), electromagnéticos, rotámetros, velocidad (turbina, ultrasonidos), térmicos, y otros (Coriolis, Vórtice, desplazamiento positivo). Cada uno de estos tipos constituye un tema importante en la aplicación, y será tratado de forma individual y con alto grado de profundidad.

- Aplicaciones. Grupo de pantallas de la herramienta en la que se da a conocer de forma gráfica el amplio espectro de aplicaciones en las que se utilizan sensores de caudal. Se muestran los sectores, ámbitos de aplicación y soluciones particulares en los que se pueden encontrar sensores de caudal

- Características técnicas. Estudio de las características eléctricas, mecánicas, operativas y de fiabilidad comunes a todos los sensores de caudal. Es un apartado eminentemente teórico y conceptual en el cual se definen las características de tipo técnico comunes a la mayor parte de los sensores de caudal. También se introduce y analiza el concepto de calibración, muy importante en este tipo de dispositivos.

- Señales de salida. Se estudian desde un punto de vista electrónico cómo son las señales eléctricas que generan los sensores que se analizan. También se dedica un apartado al estudio e introducción de las comunicaciones industriales más habituales en estos dispositivos y los buses de campo empleados en la industria.

- Fabricantes. En este tema principal se presentan numerosos enlaces a páginas Web de fabricantes de sensores de caudal, como medio de facilitar un acceso rápido a ejemplos de productos actuales, precios, y toda la información que estas empresas den a los usuarios.

- Normativa. Se muestran las normativas relacionadas con la medida de caudal a nivel internacional [19], europeo y nacional, y se explican los niveles de protección de los sensores y la simbología normalizada que llevan asociada.

- Evaluación. Se ha creado un apartado de evaluación que permite establecer una valoración de los conocimientos adquiridos por el usuario al revisar cada uno de los temas principales en los que se agrupa el contenido teórico de la aplicación. Al ejecutar la evaluación se plantean sucesivas preguntas con varias, cada una con varias posibles respuestas, de las cuales el usuario debe ir seleccionando la correcta. Existen tres niveles de dificultad en las preguntas, y la elección del nivel de dificultad se ajusta de forma dinámica en tiempo de ejecución en función de los aciertos que el usuario vaya acumulando. Después de un número de preguntas limitado entre nueve y quince, se concluye con una valoración cualitativa de los conocimientos mostrados por el usuario.

En la herramienta se presentan todos los aspectos anteriores ampliamente desarrollados a través de numerosas explicaciones en las que se introducen simulaciones interactivas (p.ej. Fig. 3 y Fig. 4), ejemplos de cálculo (ej. en la Fig. 5), imágenes de aplicaciones reales, y hojas de características o catálogos. Además, con la inclusión de gráficos explicativos, animaciones y enlaces a páginas Web de fabricantes se ofrece una completa visión de los sensores de caudal para los estudiantes de ingeniería en las distintas ramas y para los profesionales del sector de la automatización que buscan una respuesta rápida ante cuestiones relacionadas con la medida de caudal.

A través de esta herramienta se profundiza en los sensores de caudal tratados según los grupos de sensores de presión diferencial, sensores electromagnéticos, rotámetros, sensores de medida de velocidad, sensores térmicos, y un subgrupo que aglutina otros tipos de sensores de caudal menos habituales.



Figura 4. Simulación de una placa de orificio con medidor.

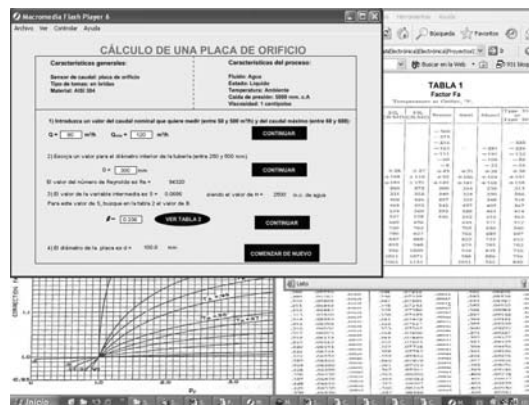


Figura 5. Simulaciones y cálculos.

El elemento más atractivo del software desarrollado es el que se refiere a las simulaciones interactivas, donde se muestran los principios físicos de funcionamiento o los modos de detección de los distintos tipos de sensores de caudal. A través de ellas se aporta una visión precisa y clara de la utilidad de estos sensores en tareas de automatización y control.

El modo de estructurar y presentar la información al usuario ha sido desarrollado a partir de trabajos anteriores en esta línea, que ya han recibido una valoración muy favorable de los alumnos de cursos avanzados de ingeniería en la Universidad de Vigo, a los que se les ha presentado. En concreto, se ha comprobado la aceptación de una herramienta completa sobre los sensores de proximidad [12] y varias aplicaciones sobre electrónica de potencia [8][9], e incluso se ha valorado la calidad de la encuesta empleada para recoger la información. A grandes rasgos, se puede concluir de este estudio que los alumnos ven muy positiva la utilización de estas herramientas como elementos de apoyo a la docencia y su utilización en otros temas de ingeniería.

El resultado de este desarrollo es una aplicación innovadora e inédita sobre los sensores de caudal, un grupo de dispositivos de gran importancia en la industria de proceso y en menor medida en otros muchos ámbitos técnicos. El punto de vista teórico con el que se aportan las explicaciones y conceptos sobre estos dispositivos, la información adicional en forma de catálogos, hojas de características, y enlaces a páginas de fabricantes, la autoevaluación que se incorpora, y las simulaciones y los cálculos de distintos modos de funcionamiento o parámetros de diseño convierten a esta herramienta en un software especialmente diferente de la mayoría de aplicaciones de simulación.

## 5. Perspectivas

En vista del alto grado de aceptación que se percibe entre los usuarios de las herramientas que han dado origen al desarrollo de la aplicación que se presenta, existe una clara línea de trabajo definida hacia la mejora de esta herramienta de sensores de caudal y la creación de nuevas aplicaciones software sobre otros dispositivos electrónicos. Entre las mejoras que se plantean se pretende una mejora del apartado de evaluación, de forma que se pueda aplicar a todos los tipos de sensores de caudal. La versión actual permite analizar de forma dinámica, y en tiempo de ejecución, el nivel de conocimientos del usuario que se evalúa, de modo que en función de las respuestas que se aporten a un número de preguntas limitado, se obtiene una valoración objetiva.

De forma similar a como se ha procedido con alguna de las aplicaciones precedentes [12], se prevé una evaluación objetiva de la calidad de la herramienta, a nivel funcional, estético y técnico, empleando criterios de valoración y puntuaciones externas. Los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas por los alumnos sobre los trabajos que preceden al que se presenta son muy satisfactorios, y en la tabla I se aporta alguno de los datos más interesantes obtenidos.

<b>Evaluación de calidad</b>	<b>Resultados</b>
Nota media	7,81
Nota Evaluación	7,6
Nota media mínima	5,8
Nota media máxima	8,2
Aprobado en:	nota media de todas las cuestiones
Peor valoración:	extensión, evaluación y teoría
Mejor valoración:	simulaciones y vídeos

Tabla 1. Muestra de algunos resultados de evaluación.

Los criterios de valoración a considerar son los que aportan dos tipos de usuarios, por un lado los alumnos de las distintas carreras universitarias de ingeniería en las que el Departamento de Tecnología Electrónica imparte docencia, y, por otra parte, los profesionales del mundo de la industria, técnicos e ingenieros, que conocen los sensores de caudal por la actividad profesional que desempeñan. La colaboración con ingenieros que conocen estos dispositivos por el desempeño de su actividad profesional es una realidad que se establece en la actualidad y que se pretende consolidar de cara a otros trabajos. Este aspecto permite optimizar las herramientas desarrolladas.

## 6. Conclusiones

El incremento en la calidad de la enseñanza pasa, entre otras adaptaciones, por incorporar nuevos métodos de aprendizaje, mejorar los medios para facilitar la comprensión de los nuevos conceptos, y motivar al alumno de forma que se sienta atraído por los temas que debe aprender. Este aspecto es aplicable a las enseñanzas técnicas propias de las distintas ramas de Ingeniería, y de hecho puede cobrar más fuerza, y en especial se plantea como muy adecuado para la explicación de temas de Electrónica. Esta forma de adaptación a los nuevos mecanismos de ayuda a la tarea docente aporta varias características de alto nivel que se resaltan a continuación: ahorro de tiempo en la explicación de conceptos, claridad (debido a que las explicaciones son visuales y casi intuitivas), capacidad de interacción entre el usuario y la aplicación, contacto con el mundo real a través de muestras de catálogos y hojas de características de productos existentes en el mundo de la industria, acceso a páginas Web de fabricantes. Todos estos elementos contribuyen a una mejora en el conocimiento de los sensores de caudal para que su utilización, selección y montaje en planta sean tareas más conocidas para el ingeniero relacionado con temas de automatización.

La herramienta “Sistema multimedia para la enseñanza de los sensores de caudal” se integra en un proceso de creación de software destinado a la mejora de los futuros ingenieros o de aquellos profesionales sin experiencia o información relacionada con este tipo de dispositivos. Su concepción ha estado marcada por la previsible y futura integración en un sistema elearning en el que caben otro tipo de temas afines.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud a la Dirección General de Investigación de la Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnología del Ministerio de Ciencia y Tecnología, que apoyó este trabajo con el proyecto de investigación DPI2003-04926.

## Referencias

- [1] Creus, A. "Instrumentación industrial". Editorial Marcombo, Barcelona, 1998.
- [2] Lara, J. de, Alfonseca, M. SIMULATION: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International. 79(1): 19-34. 2003
- [3] Marcos, J., Nogueiras, A., Rodríguez, R.. "Herramienta de ayuda para la enseñanza de los sensores optoelectrónicos". Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación SAAEI2001. Matanzas, Cuba. 17 - 19 de Septiembre de 2001.
- [4] Marcos Acevedo, J., Nogueiras Meléndez, A., López-Leitón, A.. "Aplicación multimedia para la enseñanza de los sensores de proximidad capacitivos". Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI2003). Vigo, España. 10 – 12 de Septiembre de 2003.
- [5] Marcos, J., Molinelli, L., Fernández, S.. "Software-aided reliability education". 31st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. Reno – EEUU. October 10 - 13, 2001.
- [6] Marcos, J., Nogueiras, A., Mandado, E., Rodríguez, R.. "Aplicación multimedia para la enseñanza de los sensores optoelectrónicos". V Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAEE 2002). Las Palmas de Gran Canaria, España. 13 - 15 de Febrero de 2002.
- [7] Marcos, J., Nogueiras, A., Vilariño, J.. "Aplicación multimedia para la enseñanza de los sensores de proximidad inductivos". Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación (SAAEI'2002). Alcalá de Henares – Madrid, España. 18 - 20 de Septiembre de 2002.
- [8] Marcos, J., Quintas, C., Doval, J., Costas, R. and Nogueiras, A. "E-Learning Tool for AC/DC Converters". 11th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE – PEMC 2004. 2 – 4 September 2004; Riga, Latvia.
- [9] Marcos, J., Quintas, C., Doval, J., Hidalgo, O. and Nogueiras, A. "E-Learning Tool for DC/AC Converters". 11th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE – PEMC 2004. 2 – 4 September 2004; Riga, Latvia.
- [10] Schmid, Ch. A remote laboratory using virtual reality on the Web. SIMULATION 73:13-21, 1999.
- [11] Ulrich, K. "Flash 4"; Ediciones Anaya Multimedia; Ed. Anaya, Madrid, 2000.
- [12] Vilas Iglesias, J.M., Marcos Acevedo, J.. "Multimedia system for the learning about proximity sensors". IADAT-e2004, Internacional Conference on Education , 7-9 July, 2004; Bilbao (Spain).
- [13] URL: <http://www.siemens.com>
- [14] URL: <http://www.festo.com>
- [15] URL: <http://www.hastings-inst.com/>
- [16] URL: <http://www.gfsignet.com>
- [17] URL: <http://www.rosemount.com>
- [18] URL: <http://www.ABB.com>
- [19] URL: <http://www.iso.org>