

Implementación de una metodología de priorización en una plataforma tecnológica para la mejora del proceso de inspecciones visuales.

Sebastián Macias-Gallego¹, Jakelin Correa-Palacio², Cindy Yáñez-Ayala³, Víctor Cataño-Calderón⁴,
Fernando Guevara-Carazas⁵

¹Grupo de investigación GOMAC, Ingeniería mecánica, Universidad Nacional de Colombia. Email: smaciasg@unal.edu.co

²Grupo de investigación GOMAC, Ingeniería mecánica, Universidad Nacional de Colombia. Email: jcorreapa@unal.edu.co

³Grupo de investigación GOMAC, Ingeniería mecánica, Universidad Nacional de Colombia. Email: cpyaneza@unal.edu.co

⁴Grupo de investigación GOMAC, Ingeniería mecánica Universidad Nacional de Colombia. Email: vdcatanoc@unal.edu.co

⁵Grupo de investigación GOMAC, Ingeniería mecánica Universidad Nacional de Colombia. Email: fjguevarac@unal.edu.co

Resumen

Las inspecciones realizadas por operadores humanos, para la evaluación de la condición de activos siguen siendo usadas en la industria del mantenimiento. Sin embargo, se identificaron problemas para tomar decisiones a partir de los resultados de estas inspecciones, debido a restricciones en los procesos de diseño, ejecución y análisis de los datos obtenidos. En este artículo se presenta una plataforma tecnológica que busca mejorar dichos procesos y se incluye además una metodología de priorización para la toma de decisiones. La solución propuesta fue implementada en una flota de vehículos de carga pesada para la recolección de residuos sólidos, logrando por ejemplo, la segmentación y priorización automática de las novedades en los cuatro cuadrantes de la caja de Eisenhower, así: novedades importante-urgente: 5%, importante-no urgente: 10%, no importante-urgente: 24% y no importante-no urgente: 61%, obteniendo una variación total en el orden de atención de las novedades a solucionar, del 98%, con respecto a una clasificación sin criterios de prioridad, lo que permitió tomar mejores decisiones fundamentada en las variables críticas para la organización.

Palabras clave: Decisión, Priorización, Plataforma tecnológica, Metodología.

Abstract

Inspections carried out by human operators for the assessment of asset condition are still used in the maintenance industry. However, problems were identified in making decisions based on the results of these inspections, due to restrictions in the processes of design, execution and analysis of the data obtained.

This article presents a technological platform that seeks to improve these processes and also includes a prioritization methodology for decision making. The proposed solution was implemented in a fleet of heavy-duty vehicles for the collection of solid waste, achieving, for example, the segmentation and automatic prioritization of the novelties in the four quadrants of the Eisenhower box, thus: important-urgent news: 5%, important-non-urgent: 10%, non-important-urgent: 24% and non-important-non-urgent: 61%, obtaining a total variation in the order of attention of the novelties to be solved, of 98%, with respect to a classification without priority criteria, which allows better decisions to be made based on the critical variables for the organization.

Keywords: Decision, Prioritization, Technology Platform, Methodology

1. Introducción

Las inspecciones visuales implementadas por operadores humanos pertenecen a la categoría de pruebas no destructivas, es decir, a técnicas utilizadas para recopilar datos sobre la condición de un activo sin dañarlo [1]. Pese al desarrollo de nuevas tecnologías de inteligencia artificial, industrias como petróleo y gas, energía y servicios públicos, transporte, infraestructura [2],[3], entre otras, utilizan ampliamente esta técnica

para la gestión del mantenimiento [4], debido a que revisar un activo con la vista humana es una de las formas más simples y rápidas de encontrar fallas [5].

A menudo, el uso de este tipo de inspecciones presenta limitaciones tales como: conocimiento del inspector [6], pérdida de trazabilidad de los datos y dificultad para capturar datos de alto valor [7], [8]. Para mejorar su efectividad, estas inspecciones se complementan con otras técnicas como: ultrasonidos, radiografías,

pruebas de partículas magnéticas, emisión acústica, líquidos penetrantes, entre otras [9].

Entre los medios más utilizados para la implementación de las inspecciones visuales se encuentra el papel físico, aplicaciones móviles o de escritorio, listas de chequeo [10], [11]. Estos medios presentan oportunidades de mejora tanto en el diseño y ejecución de las inspecciones (poca flexibilidad, ambigüedad, lentitud del medio, dificultad de uso, ausencia de protocolos, orden inadecuado de ejecución) [12], como en la cantidad, calidad y utilidad de los datos recolectados (falta de registro fotográfico, baja velocidad de lectura y escritura de los datos, falta de etiquetado de la información, falta de registros temporales, variabilidad de respuestas según el inspector) lo que limita el valor que se puede generar con estos datos [13],[14],[15] pese a la inversión realizada para la obtención los mismos [16].

Adicionalmente, la gran cantidad de novedades que se generan sobre diferentes conjuntos de activos enfrenta a las áreas de mantenimiento a tomar diferentes tipos de decisiones, en ocasiones resultan no ser las más acertadas para equilibrar diferentes consideraciones (Costos, riesgos, operación, tiempo) [17].

Existen teorías, que indican que las inspecciones visuales no son consideradas como técnicas para el mantenimiento predictivo [18]. Sin embargo, son los fabricantes de software en mantenimiento predictivo los principales promotores de las tecnologías y del uso de ellas en la industria [16],[19]. Por lo tanto, detrás de las inspecciones visuales no hay fabricantes que promuevan de manera directa el uso de esta técnica para la monitorización de condiciones de activos [20].

Como alternativa de solución a las limitaciones mencionadas, en este artículo se presenta una plataforma tecnológica fundamentada en una metodología de priorización para la toma de decisiones. Se aportan los resultados de implementación en una flota de vehículos de carga pesada para la recolección de residuos sólidos

La sección 2, muestra la metodología utilizada para llegar a la solución. La sección 3 describe los resultados específicos: Metodología de priorización y plataforma tecnológica desarrollada. El documento finaliza con las conclusiones, en las cuales se recomiendan diferentes tipos de trabajos futuros.

2. Metodología

Esta sección muestra las 4 etapas utilizadas para el desarrollo de la solución: identificación de oportunidad, revisión de soluciones existentes, desarrollo de modelo de priorización, desarrollo de aplicación

2.1. Identificación de la oportunidad.

El origen del proyecto nace de la necesidad de mejorar la trazabilidad, calidad y utilidad de los datos provenientes de las inspecciones para soportar las decisiones sobre un parque automotor de carga pesada compuesto por 190 activos, con una participación promedio de mantenimiento correctivo de 90% y alta demanda operacional, lo que limitaba el tiempo de respuesta frente a las novedades que se presentaban diariamente y la posibilidad de analizar los datos disponibles para priorizar adecuadamente las acciones.

2.2. Revisión de soluciones existentes.

A partir de la experiencia, el conocimiento de los autores y revisiones en la literatura se definieron requerimientos para mejorar el proceso de diseño e implementación de inspecciones visuales y potenciar el valor de los datos obtenidos para tomar mejores decisiones. Los requerimientos más importantes se definen a continuación:

2.2.1. Metodología de priorización: Entiéndase como priorización la posibilidad de definir qué tan grave es que se presente cierto modo de falla en un activo, tanto desde el punto de vista de quien diseña la inspección como del que la ejecuta, esta clase de priorización influye directamente en la toma de decisiones. Una buena metodología de priorización permite atender lo más importante primero, evitando así daños más grandes y sobrecostos futuros de tiempo y dinero.

2.2.2. Utilización de imágenes: el uso de imágenes en las inspecciones visuales no solo sirve como guía y evidencia para mejorar la confiabilidad del resultado, sino que también permite un mejor análisis de la información y escalar a soluciones que involucren reconocimiento de imágenes para ahondar en componentes más críticos del activo. Por lo anterior, al momento de diseñar una lista de chequeo, es preferible permitir añadir fotografías y/o imágenes que guíen al inspector al contestar cada pregunta, lo cual reduce las horas de capacitación y entrenamiento de personal, y disminuye la incertidumbre ligada al conocimiento del inspector. Adicionalmente, el inspector debe poder añadir fotografías que sirvan como soporte de cada una de sus respuestas en el nivel de detalle que se requiera según las condiciones del activo.

2.2.3. Flexibilidad en la visualización del reporte: además de recolectar la información de una inspección, se debe poder acceder a ella de forma clara y sencilla. El reporte de la inspección juega un papel importante dentro del proceso de gestión de mantenimiento y toma de decisiones, pues además de permitir visualizar los resultados, ofrece un registro histórico de las inspecciones que permite hacer comparaciones entre estados del activo a través del tiempo y brinda soporte para entidades de control y para generar órdenes de trabajo. Debido a su utilidad, es interesante poder interactuar con él para visualizar la información de las

inspecciones y las novedades de acuerdo a las necesidades.

2.2.4. Personalización y flexibilidad de los cuestionarios: Cada organización es diferente, tiene sus propias características y necesidades, por lo que un solo modelo de preguntas no será viable para diferentes organizaciones, incluso si para un caso específico dentro de una organización, una pregunta con respuesta de tipo bueno/malo/regular es suficiente, para otros casos dentro de la misma puede que no lo sea; es por esta razón, que para mejorar el proceso de inspecciones visuales, se debe tener la posibilidad de adecuar los cuestionarios y los tipos de preguntas a las necesidades específicas de cada caso y cada uno de los niveles de los activos.

2.2.5. Categorización / etiquetas: la posibilidad de categorizar activos, cuestionarios y preguntas permite realizar un análisis de las tendencias generalizadas en el comportamiento de los activos físicos y los modos de fallas que se presentan, a su vez, el almacenamiento de la información por medio de etiquetas permite escalar a soluciones que involucren inteligencia artificial y machine learning.

2.2.6. Acceso a bases de datos para el análisis: tener acceso completo a la información recolectada puede contribuir a realizar un análisis aún más personalizado y realizar integraciones con otros softwares que ofrecen diferentes características valiosas para las necesidades de la organización.

2.2.7. Tablero de reportes operacionales personalizable: los resultados de las inspecciones son de vital importancia para el proceso de toma de decisiones, por lo cual es importante poder tener la información sintetizada y agrupada para que sea más fácil analizarla y poder tomar decisiones con respecto a la operatividad de los activos. Por lo tanto, es de gran utilidad contar con un dashboard en el que se presente un análisis de la información recolectada que permita responder preguntas como: ¿qué tipos de falla se presentan con más frecuencia?, ¿qué activos fallan con mayor frecuencia?, ¿qué tan críticos están siendo los resultados de las inspecciones?, ¿cuántas actividades se han realizado a tiempo?, ¿cuál es el comportamiento de las novedades atendidas en relación con las que han sido reportadas?, etc. esto ayudará a tomar decisiones oportunas que reducen costos y uso de recursos en el futuro.

2.2.8. Registro de acciones correctivas: parte del objetivo de realizar las inspecciones visuales es corregir las fallas detectadas antes de que sean demasiado graves, es importante entonces llevar registro de todas las acciones correctivas que se realizan durante la inspección, este registro debe incluir si fue o no reparada, observaciones y fotos, esto para lograr una trazabilidad en el tiempo de dicha información, lo cual permite, entre otras cosas, hacer

un seguimiento del trabajo técnico, contar con un informe detallado para soporte de procedimientos, obtener indicadores más específicos y acercados a la realidad como el MTTF (Tiempo medio hasta el fallo) y el MTTR (Tiempo medio de reparación), realizar proyecciones y realizar una adecuada gestión de repuestos y recurso.

Posteriormente, se revisó la existencia de los requerimientos anteriores en 12 aplicaciones con mayor relevancia en Google para la implementación de inspecciones visuales. Los resultados se muestran en la Tabla 1, donde S indica que identifica, N que no se identifica, y AP Aplicación revisada. Dado que las soluciones existentes no se adaptaron a los requerimientos, se procede con el desarrollo de una solución in house.

Tabla 1. Revisión de 12 aplicaciones según 8 criterios

Input	Revisión de aplicaciones existentes												%	
	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8	AP9	AP10	AP11	AP12		
2.2.1	S	N	S	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	42%
2.2.2	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	17%
2.2.2*	S	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	S	S	33%
2.2.3	S	N	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	25%
2.2.4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	92%
2.2.4*	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	17%
2.2.5	N	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	N	25%
2.2.6	S	N	S	S	S	S	N	S	N	N	S	S	S	67%
2.2.7	S	S	S	S	N	N	S	S	S	S	S	N	N	75%
2.2.8	S	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	33%
	80%	60%	60%	50%	40%	50%	50%	30%	30%	20%	20%	30%		

Fuente: Elaboración propia fundamentada en [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32].

En la Tabla 1, los porcentajes de cada columna indican la proporción de requerimientos que cumple cada aplicación revisada, los porcentajes de las filas muestran el porcentaje de veces que aparece el criterio en las aplicaciones revisadas, el requerimiento 2.2.2 corresponde a utilización de imágenes como guía del proceso, 2.2.2* utilización de imágenes como soporte en respuesta, 2.2.4 corresponde a la personalización de cuestionarios (Preguntas), 2.2.4* personalización de cuestionarios (Tipos de preguntas y respuestas según taxonomía del activo).

2.3. Desarrollo de metodología de priorización

Para el desarrollo de una metodología de priorización, los autores proponen tres actividades clave: usar escalas multi propósito, incorporar asignación de niveles de criticidad en la estructura de los protocolos de inspección y priorizar por medio del uso de un valor de criticidad total y etiquetas.

2.3.1 Escalas multipropósito: La escala propuesta, presenta un rango de variación de 0 a 10, donde los valores de 1 a 10 se asocian directamente a los cuatro cuadrantes de la caja de Eisenhower [33], así: 1: *No importante -No urgente (NI-NU)*, 4: *No importante - urgente (NI-U)*, 7: *Importante-No urgente (I-NU)*, 10: *Importante-Urgente (I-U)*, y cada nivel de la escala es aumentado 3 puntos respecto al anterior, permitiendo la reducción de ambigüedades; por otro lado, el valor 0: *No se requiere asignación de importancia o urgencia*, indica que si bien hay una falla, desde la

condición observable y la experiencia del inspector, no es necesaria una intervención en un periodo de tiempo menor al tiempo entre inspecciones, pero esta condición se debe seguir monitoreando. La escala también cuenta con dos tipos de clasificaciones, las dimensiones y los criterios, la dimensión tiene una relación más estrecha, más no exclusiva, con el proceso de inspección y la toma de decisiones posterior a la inspección, y los criterios son más cercanos a la construcción de la inspección.

En la escala, la *dimensión* es un indicador de la magnitud o impacto evaluado de la condición y que deriva en una toma de decisiones desde el ámbito de la gestión y desde la temporalidad como se muestra en la Tabla 2. Los *criterios de la escala* son los aspectos que permiten integrar información del activo, información de resultados de gestión y desempeño (indicadores) junto con necesidades de la compañía con respecto al funcionamiento del activo. Estos criterios, por lo general tienen una valoración en escalas numéricas, por lo que facilitan el uso de distribuciones y diagramas de Pareto para asociar cada nivel de criticidad con un rango Pareto de los valores provenientes de cada criterio, rangos asignados tal como se indica en la columna Rangos Pareto de la tabla 2. En la escala propuesta, los autores definen cuatro criterios principales, los cuáles pueden ser utilizados de forma individual o conjunta, según la necesidad de la organización: la seguridad, el costo/gestión de recursos, la importancia del objeto de inspección en las actividades organizacionales, y finalmente los resultados de los indicadores clave. En la Tabla 2, se muestra el uso de la escala para los criterios, el valor cero se puede usar siempre y cuando se posea más de un criterio para determinación del nivel de criticidad, de otro modo, el elemento evaluado no representa interés para la compañía. La ubicación en cada nivel de criticidad se realiza utilizando rangos de los valores porcentuales obtenidos de la distribución ABC o Pareto [34],[35].

Tabla 2. Escala multipropósito.

Nivel de criticidad	Dimensión: Gestión	Dimensión: Temporal	Rangos Pareto
10	Actuar / Realizar de inmediato.	$tr = 0\%$.	[1%,10%]
7	Resolver / Programar con exactitud.	$0\% < tr \leq 10\%$	(10%,30%]
4	Programar a corto plazo.	$10\% < tr \leq 30\%$	(30%,60%]
1	Planificar con exactitud.	$30\% < tr \leq 60\%$	(60%,100%]
0	No requiere asignar criticidad, el hallazgo no es significativo y el período entre inspecciones se considera oportuno para el seguimiento de su desarrollo.	$tr > 60\%$	Usar si no se desea asignar criticidad

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2, la dimensión temporal corresponde a un tiempo de respuesta (tr), que es la máxima cantidad de tiempo para dar atención a la novedad y se calcula como un porcentaje del tiempo establecido para ejecutar de nuevo la inspección (periodo).

2.3.2. Asignación de valores de criticidad: La asignación de la criticidad debe ser asociada tanto desde la concepción del formulario de inspección como en su ejecución, proceso en el que interviene todo aquel que tenga interés en la condición del activo y posea información técnica, operativa, financiera, datos de valor (aquellos provenientes de procesamiento de información) y tenga claridad del objetivo empresarial del activo.

Asignación de criticidad desde el diseño de la inspección: corresponde a los encargados del diseño de la inspección, y se realiza seleccionando factores específicos para los criterios mencionados en la *escala multipropósito*, factores que pueden variar en función del tipo de negocio, las políticas internas, la normativa y los objetivos específicos de la inspección. La asignación de valores de criticidad abarca la *criticidad de la pregunta*, cuya finalidad es identificar los puntos de inspección más críticos y la *criticidad de la respuesta*, cuya finalidad es identificar los modos de falla más críticos para cada pregunta y pueden requerir o no la asignación de una criticidad según la condición observable del activo.

Asignación de criticidad en el momento de la inspección: Esta asignación corresponde al encargado de ejecutar la inspección, allí el inspector identifica, si es posible, los modos de falla que pueden estar configurando la condición del objeto de inspección en el momento de la observación; además, de ser asignado por el creador del cuestionario, el inspector deberá indicar la degradación de la condición elegida usando la calificación de la escala multipropósito presentada en la Tabla 2.

2.3.3. Priorizar usando un valor de criticidad total y etiquetas: El resultado final de cada inspección es un valor que relaciona la criticidad de las preguntas, la criticidad de las respuestas elegidas y la criticidad asignada por el técnico (si esta fuera necesaria); por otro lado, el análisis posterior de información requiere herramientas de agrupación y filtrado, para esto el creador del cuestionario recurre al uso de etiquetas que asocian características de los activos con una inspección específica, es decir, crea agrupadores que compartan ciertas características.

A continuación, se describen cada uno de los elementos que permiten priorizar y organizar la información, en primer lugar, está el *número de criticidad total por respuesta*, este nivel de asignación de criticidad facilita la gestión a nivel específico de las fallas y su condición según lo observado, otorgando un nivel de temporalidad esperado para la atención. En segundo

lugar, está el número de *criticidad total por pregunta*, que es la multiplicación del valor de criticidad de la pregunta, valor asignado durante la creación del cuestionario, por la sumatoria de la criticidad de las respuestas elegidas para dicha pregunta, esta permite tomar decisiones en función de elementos específicos del activo, en este nivel las etiquetas permiten segmentar estos elementos según características deseadas. En tercer lugar, está el *número de criticidad total del cuestionario*, que es la sumatoria del número de criticidad total obtenido por cada una de las preguntas de un cuestionario y permite tomar decisiones en función de un activo de forma global, su beneficio más representativo es facilitar la atención de los casos generales más críticos. Finalmente, para las *etiquetas* que son características que facilitan la agrupación o segmentación de la información para la toma de decisiones, es decir, permiten agrupar los activos según las etiquetas asociadas y priorizar en función del valor de la criticidad y el grupo de etiquetas seleccionadas, para su creación e identificación, los autores proponen tomar como referente las necesidades de la organización respecto a la identificación de la condición de los activos y toma de decisiones operativas, la caracterización de los activos y su operación, la gestión de indicadores y la mejora de procesos.

2.4. Desarrollo de plataforma tecnológica

Para el desarrollo de la solución se usó una metodología ágil [36] aplicando las prácticas estándar de la industria de construcción de productos de software. Es una metodología cíclica, de avances rápidos y entregas incrementales donde se ejecutan las fases del ciclo de vida del desarrollo del software en cada iteración [37], [38].

Se definieron requisitos funcionales según los requerimientos nombrados en la sección 2.2 y se incluyeron los siguientes requisitos no funcionales:

- **Accesibilidad:** Todas las interacciones con los usuarios deben ser sencillas e intuitivas con el fin de reducir el esfuerzo cognitivo y aumentar la productividad (acciones/tiempo).
- **Rendimiento:** Todos los componentes del sistema deben responder rápidamente a las acciones de los usuarios.
- **Disponibilidad:** El sistema debe mantenerse operativo durante la mayor parte del tiempo en que la organización lo requiera, tanto para crear inspecciones como para llenarlas y ver informes. En caso de que exista alguna disrupción que afecte la operación, por ejemplo, fallas de conexión, el sistema debe ser capaz de mantener el mayor grado de funcionalidad.
- **Integridad de datos:** Dada la gran cantidad de información que se va a recolectar, el sistema debe almacenarlos de una manera organizada y consistente.
- **Exactitud:** Se debe garantizar la correcta implementación de cada parte del sistema.

- **Extensibilidad:** El sistema debe poder adaptarse rápidamente a cambios en los procesos, en el mercado y en nuevas necesidades que surjan en las organizaciones.
- **Portabilidad:** El sistema debe ser lo suficientemente flexible para ser desplegado en distintos dispositivos dependiendo de las necesidades de la organización y de las condiciones particulares del despliegue.
- **Escalabilidad:** El sistema debe soportar un incremento permanente en el número de usuarios y organizaciones.

2.4.1 Stack tecnológico propuesto

Esta sección describe las tecnologías seleccionadas para el desarrollo de la solución debido a que permiten cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales.

Django y Django Rest Framework: Para la implementación del backend como servidor central de sincronización se seleccionó Django [39] por su facilidad para implementar el modelo de datos. Su extensibilidad y adaptabilidad permiten abstraer detalles como el sistema de manejo de base de datos y almacenamiento de fotos.

Flutter: Es un framework de código abierto de Google para construir aplicaciones amigables. Se selecciona debido a que es rápido, productivo y flexible [40].

2.4.2 Arquitectura de la plataforma

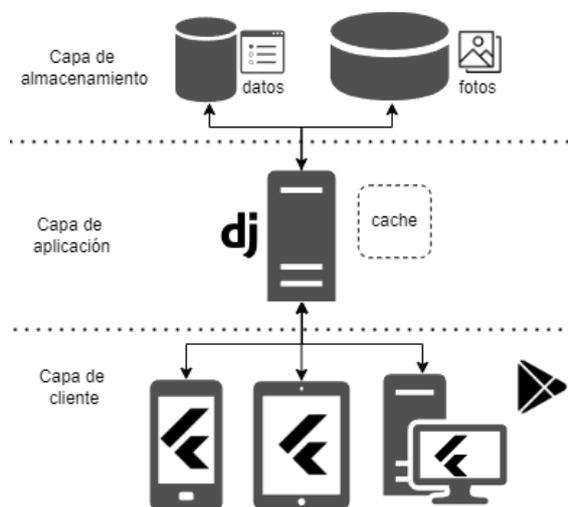


Figura 1. Diagrama de la arquitectura general.

Las capas se encuentran desacopladas de tal manera que pueden ser reemplazadas en cualquier momento de ser necesario sin que el sistema tenga que ser reestructurado.

Capa de almacenamiento: Aquí se encuentra el almacenamiento persistente de toda la información necesaria para el funcionamiento de la aplicación y también los datos que se obtienen durante la operación.

Se seleccionó un modelo relacional para el almacenamiento de datos que puede escalar horizontalmente cuando el número de usuarios aumenta.

Otros archivos como las fotos se guardan en un almacenamiento separado de la base de datos relacional para controlarlos de manera más eficiente.

Esta capa puede ser consumida por más de una aplicación, esto significa que se pueden hacer desarrollos paralelos que aprovechen y enriquezcan la información, por ejemplo, aplicaciones de big data, machine learning, gestión de activos, asignación de tareas, etc.

Capa de aplicación: Implementada con Django, controla la autenticación, sincronización e integridad de la información recibida por los clientes a través de un API Rest. Además, puede mantener caché para optimizar el rendimiento.

Capa de cliente: Está implementada en Flutter por lo cual se puede ejecutar en dispositivos Android, iOS, navegadores web y como aplicación de escritorio. La interfaz de usuario y experiencia de usuario se diseñaron con el fin de reducir la carga cognitiva y aumentar la eficiencia de los procesos llevados a cabo por los usuarios, entre las características están: Seguimiento de las guías de Material Design creadas por expertos en el área, posibilidad de crear y llenar inspecciones sin conexión permanente a internet, adaptabilidad a distintos tamaños de pantalla, fluidez incluso en dispositivos de gama media y baja.

Diseño de la capa de cliente

A continuación, se muestra un diagrama con una de las arquitecturas más adoptadas por la comunidad de flutter y que influenció el diseño de la aplicación:

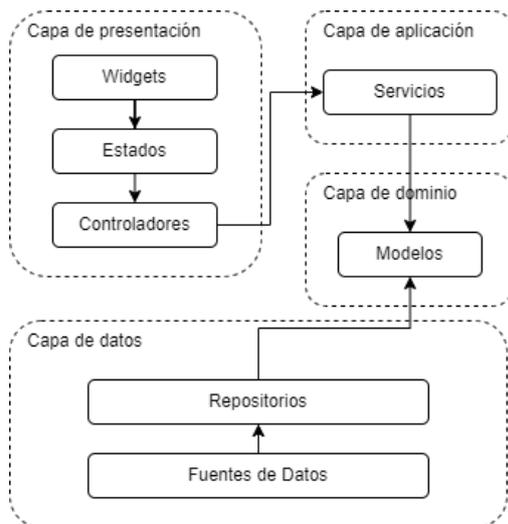


Figura 2. Diseño de capa del cliente.

Fuente: elaboración propia basado en: Codewithandrea [41], Clean Architecture [42], MVVM [43], Domain Driven Design [44].

En el diagrama se puede ver la separación de responsabilidades en la app en 3 capas independientes, haciéndola modular y verificable. Las capas son: dominio que contiene las entidades básicas del problema, ej.: preguntas, respuestas, activos; presentación que contiene pantallas, widgets e interacciones con el usuario; datos que contiene las funcionalidades que obtienen, persisten y publican los datos; aplicación orquestan las otras capas y definen el comportamiento de la aplicación. El siguiente diagrama muestra un fragmento del diagrama de clases del dominio dentro de la aplicación en Flutter:

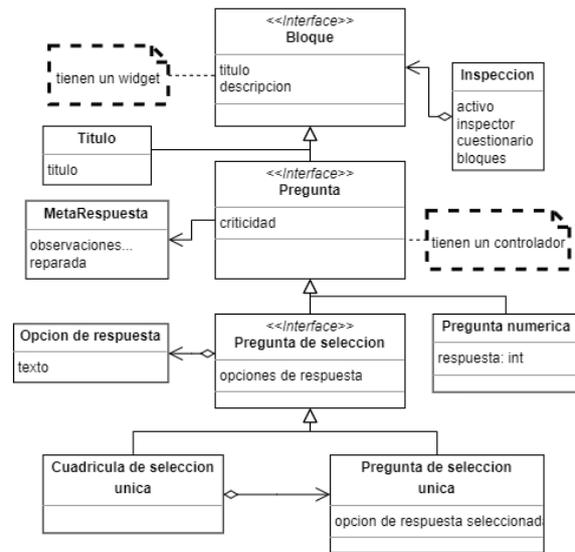


Figura 3. Fragmento del diagrama de clases del dominio.

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

3.1. Implementación metodología priorización

El proceso de implementación comienza con la definición del objetivo de la inspección, seguido de la caracterización de los activos, vehículos doble troque para la recolección de residuos sólidos municipales y la caracterización de sus modos de falla más relevantes, luego se procede con el diseño y depuración de los protocolos de inspección, lo que incluye la identificación, elección y asignación de etiquetas, el siguiente paso fue la determinación y asignación de la criticidad de cada pregunta y cada respuesta en los protocolos de inspección, para lo cual se usaron criterios de seguridad, costo invertido en los últimos 12 meses, cantidad de rutas programadas para cada activo, cantidad de horas trabajadas en los últimos 12 meses, importancia de las rutas de recolección asignadas a cada activo, e indicadores como el MTTF y el MTTR. Finalmente, se procede con la inspección de 24 activos, lo que genera un total de 117 inspecciones efectivas, 6089 preguntas con criticidad mayor a cero y una duración media de ejecución de 174 minutos para los sistemas estructurales y 69 minutos para el resto de los sistemas.

Ahora bien, con el fin de diferenciar los efectos que tiene el uso de metodologías de priorización en la toma de decisiones, se definen dos modelos, el primero denominado MI, el cual corresponde a la clasificación sin el uso de una metodología de priorización y el segundo modelo llamado MIII, el cual prioriza utilizando el valor de criticidad total y etiquetas de la metodología propuesta. Para cada modelo, en la tabla 3 se representan algunos de los activos con cambios de posición más significativos, esto se evidencia al comparar los valores del número total de criticidad (NTC), los números de posición según la priorización (P) y la ubicación en la caja de Eisenhower (C-E).

Tabla 3. Comparativo de posición de prioridad de atención de novedades MI y MIII.

Activo	NTC MI	NTC MIII	P MI	P MIII	C-E MI	C-E MIII
A14	341	59954,3	1	12	I-U	NI-U
A1A	335	88620,6	2	3	I-U	I-U
A17	333	66365,8	3	10	I-U	NI-U
A04	330	63231,3	4	11	I-U	NI-U
...
A18	313	95762,1	9	1	I-NU	I-U
A13	313	48701,2	10	16	NI-U	NI-NU
A07	292	83555,7	12	4	NI-U	I-NU
A09	290	68126,9	14	9	NI-U	NI-U
A24	285	93302,1	16	2	NI-U	I-U
...

Fuente: Elaboración propia.

De manera general y tal como se observa en la Figura 4 (priorización aplicada a un conjunto activo- etiqueta sistema), la inclusión de la metodología de priorización genera un desplazamiento de la posición en el orden de prioridad, efecto que se aprecia al comparar la curva de densidad de probabilidad de la variación de la posición en la lista de prioridades contra la línea vertical ubicada en el punto de variación cero, la cual representa los resultados de prioridad obtenidos con el modelo MI. Ahora bien, al incluir en el análisis la etiqueta de *sistema* y al aplicar el modelo de priorización MIII, es posible identificar aparte del activo, el sistema donde se deben focalizar las acciones de mantenimiento a realizar.

Es importante resaltar, que para el caso de los criterios de priorización elegidos, se observa que la curva de densidad de distribución tienen un desplazamiento hacia la izquierda y una cola más larga hacia el lateral derecho, lo primero indica que hay un descenso en la escala de prioridades, por lo que se espera que varios de los elementos migren a posiciones inferiores luego de la aplicación del modelo MIII; por su parte, la cola extendida hacia la derecha es indicativo de que algunos elementos tuvieron un ascenso considerable en la escala de prioridades.

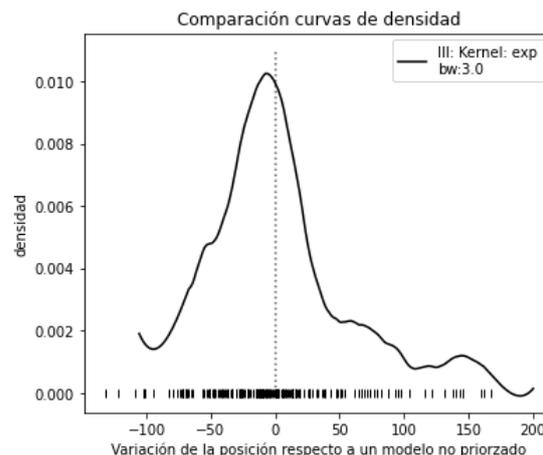


Figura 4. Curva de densidad de probabilidad de variación de la posición aplicando modelo de priorización MIII para un conjunto activo-sistema.

En la Tabla 4, se presenta el porcentaje de la cantidad de elementos priorizados para cada sistema al usar los modelos de priorización MI y MIII, en este sentido, el modelo I da prioridad al sistema estructural (4) en los dos primeros cuadrantes de la caja de Eisenhower y sólo hasta el tercer cuadrante comienzan a aparecer más de dos sistemas como relevantes para la gestión. El modelo de priorización de tres elementos (MIII), permite evidenciar que otros sistemas aparte del estructural requieren de una gestión oportuna, de este modo en el primer cuadrante aparece el sistema de frenos-neumática y en el segundo cuadrante vemos la presencia del sistema chasis y carrocería, dirección y suspensión. E la dicha tabla, se presentas los siguientes sistemas: chasis y carrocería (1), sistema de dirección (2), sistema eléctrico (3), sistema estructural (4), sistema de frenos y neumática (5), sistema hidráulico (6), sistema motor (7), sistema de suspensión (8).

Tabla 4. Determinación de orden de prioridades por medio de la caja de Eisenhower y el número de prioridad MI y MII.

C-E	Modelo	Sistema								Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	
I-U	MI				100%					4%
	MIII				89%	11%				5%
I-NU	MI				94%				6%	9%
	MIII	11%	37%		42%				11%	10%
NI-U	MI	20%			2%	20%	6%	24%	28%	29%
	MIII	20%	11%	16%	16%	2%		11%	24%	24%
NI-NU	MI	11%	21%	22%		12%	18%	9%	6%	58%
	MIII	11%	10%	15%	1%	19%	19%	16%	9%	61%

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Implementación plataforma

A continuación, se muestran algunas funcionalidades de la solución desarrollada.

Diseño de cuestionario: Permite crear diferentes tipos de preguntas, asignar etiquetas, fotos guías y criticidad desde el diseño, de acuerdo con la escala definida en la sección 2.3.1 Escalas multipropósito.

Figura 5. Ejemplo de diseño de una pregunta.

Implementación del cuestionario: Permite asignar criticidad según lo observado por el inspector.

Figura 6. Ejemplo de respuestas tipo cuadrícula.

La figura 6 muestra una pregunta tipo cuadrícula con la posibilidad de adjuntar evidencias fotográficas para cada aspecto revisado por el inspector.

Diseño de reporte automático: Los resultados de las inspecciones se actualizan en tiempo real en el reporte y se pueden filtrar por nivel de criticidad según el modelo de cálculo y los criterios para evaluar la criticidad apoyando el proceso de toma de decisiones.

Datos de la inspección

- Control: 123
- Momento inicio: 25-Nov-2021 7:51 p.m.
- Momento fin: 25-Nov-2021 7:52 p.m.
- Técnico: administrador
- Etiquetas cuestionario:
 - color: amarillo
 - color: azul

Información novedades

- Total reparaciones realizadas: 1
- Total reparaciones pendientes: 0
- Total respuestas sin novedad: 0

Ver inspección completa

Cuestionario			Inspección		
Pregunta	Etiquetas	Criticidad	Respuesta	Criticidad	Criticidad con reparaciones
pregunta1	<ul style="list-style-type: none"> sistema: motor subsistema: bomba 	2	respuesta2 Criticidad respuesta: 2	1	Reparado Ver detalles Observación: Fotos:

Finalizadas Pendientes

Buscar:

Activo	Tipo de inspección	Fecha Fin	Inspector	Criticidad inicial	Criticidad final
<input type="checkbox"/>	Cuestionario	21/11/2021	Sebastian Macias	34,1	34,1
<input type="checkbox"/>	Inspección frenos y neumática	20/09/2021	Juan Andres Zapata	34,0	34,0

Momento inicio: 20 de Septiembre de 2021 a las 14:11
Momento finalización: 20 de Septiembre de 2021 a las 14:22
Ver inspección

<input type="checkbox"/>	Inspección frenos y neumática	19/09/2021	Juan Andres Zapata	26,0	26,0
<input type="checkbox"/>	Inspección INTERNA caja compactadora y tolva	19/09/2021	Juan Andres Zapata	61,0	61,0

Figura 7. Ejemplo de reportes automáticos

El reporte permite visualizar la criticidad inicial (Al hacer la inspección) y final (Luego de ejecutar acciones correctivas o preventivas).

4. Conclusiones

Las soluciones revisadas para la implementación de inspecciones visuales se enfocan en el diseño y ejecución de listas de chequeo y acciones operativas de gestión de mantenimiento (Generación de ordenes de trabajo, compra o reemplazo de repuestos, entre otras), dejando a un lado el potencial de los datos recolectados para priorizar las acciones, analizar comportamientos de falla, apoyar sus procesos de toma de decisiones, indagar en nuevas tecnologías como el machine learning, entre otros.

Al implementar la metodología de priorización diseñada, se evidencia un desplazamiento significativo en el orden de las acciones a atender, al compararlo con una priorización sin criterios multivariables. En el caso de estudio, el orden de las decisiones resultó coherente a las necesidades de la realidad, incluso obteniendo prioridades que con un análisis humano no hubieran sido posible identificar, evitando sobrecostos futuros debido al potencial de las fallas de generar eventos graves.

Se espera que el uso de imágenes como guía de inspección mitigue la incertidumbre ligada al conocimiento del inspector. Respecto al caso de estudio la foto guía se implementó en procesos críticos y como estrategia de capacitación al personal técnico nuevo.

Promover la gestión oportuna de novedades y facilitar la disposición de los recursos en las novedades realmente importantes y urgentes el tiempo para gestión en el nivel 1 de la escala se recomienda que no supere el 60% del tiempo entre inspecciones.

El uso de frameworks para el desarrollo de aplicaciones como Django y Flutter ha permitido que equipos pequeños logren construir productos complejos rápidamente gracias a que las tareas repetitivas y frecuentes son hechas automáticamente y así se pueden centrar únicamente en las partes relacionadas con el negocio.

5. Trabajos futuros

En implementaciones futuras se recomienda: 1) hacer validación de la potencia de los resultados de la metodología de priorización a partir de métodos estadísticos, 2) analizar la variación en los resultados de inspección al utilizar o no utilizar una foto guía, 3) desarrollar soluciones de **Machine learning**, por ejemplo, modelos predictivos basado en las fotos permitiría reconocer el estado en que se encuentra un activo a partir de una fotografía, automatizar el proceso de ejecución de inspecciones visuales, aumentar la eficiencia del proceso, y disminuir el tiempo invertido y la incertidumbre ligada al conocimiento del inspector; a su vez, brinda una oportunidad de identificar patrones de comportamiento en los activos físicos de la organización.

6. Referencias

- [1] J. Tornero, L. Armesto, M. C. Mora, N. Montés, Á. Herráez, and J. Asensio, "Detección de defectos en carrocerías de vehículos basado en visión artificial: Diseño e implantación josep tornero," *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 9, no. 1, pp. 93–104, 2012, doi: 10.1016/j.riai.2011.11.010.
- [2] J. M. Sadeghi and H. Askarinejad, "Development of track condition assessment model based on visual inspection," *Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 7, no. 12, pp. 895–905, 2011, doi: 10.1080/15732470903194676.
- [3] IPWEA, "Asset Performance Guidelines Practice Notes," *Int. Infrastruct. Manag. Man.*, pp. 1–26, 2006.
- [4] A. Hauser, B. Fenski, and L. Cavalli, "24 th International Conference on Electricity Distribution Paper 0445 MAXIMIZE ASSET AVAILABILITY AND REDUCE MAINTENANCE COSTS – AN INTEGRATED APPROACH COMBINING CONDITION ASSESSMENT WITH DATA ANALYTICS 24 th International Conference on Electricity Distri," no. June, pp. 12–15, 2017.
- [5] flyability, "Visual inspections: a complete guide," *VISUAL INSPECTIONS: A COMPLETE GUIDE*. <https://www.flyability.com/visual-inspection> (accessed Jul. 31, 2022).
- [6] H. Olave, "Aplicacion De Las Normas Tecnicas En El Proceso De Inspeccion Vehicular Y Su Incidencia En El Desempeño Tecnico De Los Inspectores De Los Centros De Revision Tecnica Vehicular De La Region Tacna," vol. 5, no. 1, p. 379, 2019, [Online]. Available: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1530_2019_olave_colque_ha_fain_mecanica.pdf
- [7] R. L. Charles, T. L. Johnson, and S. R. Fletcher, "The Use of Job AIDS for Visual Inspection in Manufacturing and Maintenance," *Procedia CIRP*, vol. 38, pp. 90–93, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.08.056.
- [8] R. Freston, "How digital transformation is changing the face of visual inspection.," *Blog_ The changing face of visual inspection*, 2018. <https://www.lr.org/en/insights/articles/changing-face-of-visual-inspection/> (accessed May 10, 2022).
- [9] J. Tobio, "Ensayos no destructivos del hormigón," no. June, p. 2004, 2004.
- [10] S. G. Garrido, *Organización y gestión integral de mantenimiento*, 2010th ed. Madrid, España, 2010. [Online]. Available: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=PUovBdLi-oMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=medios+para+hacer+inspecciones+visuales&ots=UfEgOrMF2q&sig=QQUN9IuXq499Ef0b7a0kLsM9SXw#v=onepage&q&f=false>
- [11] D. Agdas, J. Rice, J. Martinez, and I. Lasa, "Comparison of Visual Inspection and Structural-Health Monitoring As Bridge Condition Assessment Methods," *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 30, no. 3, pp. 1–10, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CF.
- [12] J. Das and A. Sil, "Condition assessment of superstructure component of reinforced concrete bridges through visual inspection in the Assam, India," *Bridg. Struct.*, vol. 16, no. 1, pp. 39–57, 2020, doi: 10.3233/BRS-200171.
- [13] M. T. Gonzalez Diaz *et al.*, "Guided Visual Inspection enabled by AI-based Detection Models," *2021 IEEE Int. Conf. Progn. Heal. Manag. ICPHM 2021*, 2021, doi: 10.1109/ICPHM51084.2021.9486573.
- [14] T. Czimmermann *et al.*, "Visual-based defect detection and classification approaches for industrial applications—A SURVEY," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 5, pp. 1–25, 2020, doi: 10.3390/s20051459.
- [15] elternativa, "¿Cómo obtener el máximo rendimiento de la transformación de datos en información válida para la empresa?" <https://www.elternativa.com/blog-elternativa/rendimiento-transformacion-datos-informacion> (accessed May 01, 2022).

- [16] C. E. Torres, "Formación en inspecciones visuales," *¿La inspección visual es mantenimiento predictivo?*, 2020. <https://powermi.com/es/content/¿la-inspección-visual-es-mantenimiento-predictivo> (accessed Jul. 31, 2022).
- [17] C. Dominguez Torres and I. C. Rincon Paez, "Aplicación de los pilares del TPM para la mejora en el mantenimiento de la flota de ETIB S.A.S," p. 85, 2019, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/22313>
- [18] J. Arrieta, C. Mera, and A. Espinosa, "Evaluation of Weakly Supervised Learning Paradigms on Automatic Visual Inspection," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 6, pp. 1017–1025, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9099678.
- [19] R. Stricker, M. Eisenbach, M. Sesselmann, K. Debes, and H. M. Gross, "Improving Visual Road Condition Assessment by Extensive Experiments on the Extended GAPS Dataset," *Proc. Int. Jt. Conf. Neural Networks*, vol. 2019-July, no. July, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1109/IJCNN.2019.8852257.
- [20] N. B. Lizarazo, "Visual inspection using deep learning techniques for industrial manufacturing processes with class imbalance and limited labeled data," no. December, 2020, [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/53233>
- [21] HappyCo, "Inspections by HappyCo." 2012, 2012. [Online]. Available: <https://happy.co>
- [22] Fracttal, "Fracttal." Fracttal. [Online]. Available: <https://www.fracttal.com/es/>
- [23] SafetyCulture, "iAuditor: control y auditorías." 2007. [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.safetyculture.iauditor>
- [24] Lumiform, "Lumiform - Auditorías e inspecciones digitales." [Online]. Available: <https://lumiformapp.com/es>
- [25] Safesite Solutions Inc., "Safesite: Safety Management System." [Online]. Available: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.safesiteapp.harness&hl=es_419
- [26] Sitemate Technologies, "Dashpivot." [Online]. Available: <https://dashpivot.com/login?url=%2F>
- [27] JRS Innovation LLC, "Pesado Vehículo Inspección." [Online]. Available: <https://www.jrsinnovation.com>
- [28] Chapps NV, "Building Inspector." [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chapps.inspector.building>
- [29] JRS Innovation LLC, "Mantenimiento de inspección de buques marinos." [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.jrs.marine>
- [30] MaintainX, "MaintainX." [Online]. Available: <https://www.getmaintainx.com/use-cases/checklists-and-inspections/>
- [31] JRS Innovation LLC, "iFactory - industriales Inspección mantenimiento." [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.jrs.ifactory>
- [32] Joyfill, "Joyfill." [Online]. Available: <https://joyfill.io>
- [33] S. Manulik, J. Rosińczuk, and P. Karniej, "Evaluation of health care service quality in Poland with the use of SERVQUAL method at the specialist ambulatory health care center," *Patient Prefer. Adherence*, vol. 10, pp. 1435–1442, 2016, doi: 10.2147/PPA.S108252.
- [34] V. Z. Salvi and S. F. Mayerle, "LEAGILITY and PARETO: Increasing Services Level through a Combination of LEAGILITY and ABC Curve," *Bus. Manag. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 81–92, 2014, doi: 10.5430/bmr.v3n2p81.
- [35] L. Okanminiwei and S. A. Oke, "Optimization of Maintenance Downtime for Handling equipment in a Container Terminal using Taguchi Scheme, Taguchi-Pareto Method and Taguchi-ABC Method," *IJEM - Indones. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 1, no. 2, p. 69, 2020, doi: 10.22441/ijem.v1i2.9912.
- [36] E. Altameem, "Impact of Agile Methodology on Software Development," *Comput. Inf. Sci.*, vol. 8, no. 2, 2015, doi: 10.5539/cis.v8n2p9.
- [37] GORAN JEVTIC, "What is SDLC? Phases of Software Development, Models, & Best Practices," 2019. <https://phoenixnap.com/blog/software-development-life-cycle>
- [38] T. E. Bell and T A Thayer, "Software requirements: Are they really a problem?," *ICSE '76: Proceedings of the 2nd international conference on Software engineering*, pp. 61–68, 1976. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/800253.807650>
- [39] Software Foundation to support Django, "django." [Online]. Available: <https://www.djangoproject.com>
- [40] Flutter, "Flutter." [Online]. Available: <https://flutter.dev>
- [41] Flutter Foundations Course, "Flutter App Architecture: The Repository Pattern," 2022. <https://codewithandrea.com/articles/flutter-repository-pattern/>
- [42] cleancoder, "The Clean Architecture," 2012. <https://blog.cleancoder.com/uncle-bob/2012/08/13/the-clean-architecture.html>
- [43] J. Strawn, "Design Patterns by Tutorials: MVVM." 2018. [Online]. Available: <https://www.raywenderlich.com/34-design-patterns-by-tutorials-mvvm>
- [44] E. Evans, *Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software*. Addison-Wesley Professional, 2003. [Online]. Available: <https://www.oreilly.com/library/view/domain-driven-design-tackling/0321125215/>