



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN

Diseño de un sistema de reporte de mantenimiento para una empresa de tanques de gas

*Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
Ingeniero de la Producción.*

AUTOR:

Mateo Josué Samaniego Guarquila

Thomas Rolando Quintuña Cabrera

DIRECTOR:

Ing. Damián Vladimir Encalada Avila

Cuenca – Ecuador

2026

## DEDICATORIA

*Mateo Josué Samaniego Guarquila*

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a mis padres, Juan Pablo y Maritsa, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida. Gracias por guiar cada uno de mis pasos, por su paciencia infinita, su cariño incondicional y por sembrar en mí los valores que hoy me definen.

A mis abuelas, Marías, quienes han sido mi mayor inspiración. Su fortaleza, entrega y ejemplo de lucha me han enseñado el verdadero significado de salir adelante, recordándome siempre de dónde vengo y la importancia de nunca rendirme.

A mis hermanos, por ser parte esencial de mi vida, por su compañía, apoyo y por llenar mi camino de momentos que atesoro en el corazón.

*Thomas Rolando Quintuña Cabrera*

Dedico este trabajo en primer lugar a mis padres, María José y Rolando, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mi mamá por su apoyo incondicional, su paciencia y constante apoyo, incluso en los momentos más difíciles. A mi papá, por sus enseñanzas, su ejemplo de esfuerzo y trabajo constante.

A mis hermanos, quienes han sido una fuerte alegría, apoyo y fortaleza.

A mi tío Javier, quien ya no está físicamente conmigo, pero cuya memoria y palabras han sido una motivación constante. Este logro también es para ti, porque te prometí que terminaría esta carrera pase lo que pase.

Y finalmente, una mención especial a Sofía, por su amor, comprensión y apoyo constante. Gracias por estar a mi lado en este proceso, por motivarme en los momentos de duda y por ser parte fundamental de este logro.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Damián Encalada, quien ha sido mucho más que un guía académico. A lo largo de este proceso se ha convertido en un verdadero apoyo y en un gran amigo, acompañando desde el inicio de nuestra formación profesional. Gracias por su tiempo, su dedicación y por compartir generosamente sus conocimientos, dejando una huella importante en este camino.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema digital de reporte de mantenimiento correctivo para una empresa del sector industrial dedicada a la maquila de tanques de gas en la ciudad de Cuenca. El estudio surge a partir de la identificación de deficiencias en el proceso tradicional de gestión de fallas, caracterizado por el uso de registros manuales, falta de estandarización de la información y ausencia de trazabilidad en los datos. La metodología aplicada tuvo un enfoque práctico y cuantitativo, estructurada en cuatro etapas: diagnóstico del proceso actual, diseño del sistema digital, implementación en planta y evaluación de resultados. Se desarrollaron formularios digitales integrados, una base de datos centralizada y un sistema de identificación único que permitió consolidar la información generada por operadores y técnicos. Como resultado, se logró estandarizar la captura de datos, reducir errores humanos, mejorar la comunicación interdepartamental y automatizar el cálculo de indicadores técnicos como el MTTR y MTBF. La digitalización del proceso permitió disminuir los tiempos de respuesta ante fallas y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. Se concluye que la implementación de sistemas digitales de bajo costo representa una alternativa viable para mejorar la gestión del mantenimiento en pequeñas y medianas empresas, contribuyendo a su eficiencia operativa y competitividad.

**Palabras clave:** Mantenimiento Correctivo, Gestión del Mantenimiento, Recolección de Datos Digital, Indicadores de Mantenimiento, Trazabilidad de Datos, Pequeña y Mediana Empresa.

## **ABSTRACT**

This study aims to design and implement a digital maintenance reporting system for a gas tank manufacturing company located in Cuenca, Ecuador. The research originates from the identification of deficiencies in the traditional failure management process, characterized by manual records, lack of data standardization, and absence of traceability. The methodology follows an applied and quantitative approach, structured in four main stages: diagnosis of the current process, system design, implementation, and evaluation. The proposed solution includes integrated digital forms, a centralized database, and a unique identification system to consolidate information from operators and maintenance technicians. The results show a significant improvement in data standardization, reduction of human errors, enhanced interdepartmental communication, and automated calculation of key performance indicators such as MTTR and MTBF. Additionally, the digitalization of the process reduced response times to failures and enabled data-driven decision-making. The study concludes that low-cost digital systems represent a feasible and effective solution for improving maintenance management in small and medium-sized enterprises, contributing to operational efficiency and organizational competitiveness.

**Keywords:** Corrective Maintenance, Maintenance Management, Digital Data Collection, Maintenance Indicators, Data Traceability, Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs)

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.	DEDICATORIA .....	2
II.	AGRADECIMIENTOS .....	2
III.	RESUMEN .....	3
IV.	ABSTRACT.....	4
1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1.	Importancia del mantenimiento en los sistemas productivos .....	8
2.2.	Tipos de mantenimiento .....	8
2.3.	Gestión del mantenimiento .....	10
2.4.	Sistemas de información aplicados al mantenimiento .....	10
2.5.	Indicadores de mantenimiento .....	12
2.5.1.	Indicadores técnicos de mantenimiento .....	12
2.5.2.	Indicadores de gestión de mantenimiento .....	13
2.6.	Justificación del modelo de disponibilidad en paralelo .....	13
3.	METODOLOGÍA .....	15
3.1.	Etapas de desarrollo .....	15
3.2.	Herramientas tecnológicas utilizadas .....	15
3.3.	Diagnóstico del proceso tradicional .....	16
3.4.	Identificación de problemáticas .....	17
3.5.	Diseño del sistema y formulario digital integrado .....	18
3.6.	Integración interdepartamental .....	19
3.7.	Variables utilizadas e indicadores .....	20
3.8.	Implementación y estandarización del flujo de trabajo .....	21
4.	RESULTADOS .....	23
4.1.	Estandarización de la Información .....	23
4.2.	Centralización de la Base de Datos .....	26
4.3.	Automatización del Flujo de Información .....	27
4.4.	Implementación de Indicadores Técnicos .....	30
4.5.	Visualización de Disponibilidad por Línea .....	32
5.	CONCLUSIONES .....	35
6.	LIMITACIONES .....	36
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa en cuestión de objeto de estudio pertenece al sector privado, dedicada a la maquila de tanques de gas, cuya actividad forma parte de la cadena productiva del sector industrial en Cuenca. Se clasifica como una pequeña y mediana empresa (PYME) debido al número de trabajadores, estructura organizacional y su nivel de producción. Ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, desarrolla sus operaciones bajo un esquema de producción por lotes, en el cual la disponibilidad de la maquinaria es un factor crucial para el cumplimiento de la planificación interna como para la respuesta de la demanda externa.

La maquinaria industrial utilizada por la empresa, cuya función de mantener activos los procesos productivos, exige un adecuado control y gestión del mantenimiento para garantizar la continuidad operativa, reducción de producto final defectuoso y la seguridad de sus trabajadores. Bajo este contexto, el mantenimiento correctivo cumple un rol vital dentro de la empresa, ya que las fallas no planificadas se traducen en incumplimiento de la producción, retrasos en tiempos de entrega y/o costos adicionales para la empresa.

Durante el análisis actual de la empresa, se identificó que el proceso de mantenimiento correctivo se realizaba de manera específicamente manual. Ante cualquier ocurrencia de una falla en una máquina, el operador notificaba el problema de forma verbal o mediante un formulario físico en papel (dependiendo la gravedad del problema). Posterior, esta información era transcrita por el jefe de mantenimiento de manera parcial y no estructurada en hojas de cálculo. Esta forma de gestionar los datos, no permite tener una trazabilidad sobre lo que está sucediendo en planta con los mantenimientos correctivos.

La forma de llevar actualmente el proceso presenta varias limitaciones. En primer lugar, la información registrada no estaba estandarizada, ya que cada reporte de información dependía del criterio de cada operador o técnico. En segundo lugar, el uso de formularios físicos implica una posible pérdida de datos, deterioro o alteración de la información. Por último, las hojas de cálculo utilizadas no funcionaban como una base de datos estructurada, sino como una forma de plasmar información, esto no permitía establecer relaciones entre los datos ni generar un historial de las fallas.

El problema central identificado en la empresa radica en la transición desde un modelo de gestión de mantenimiento completamente manual, basado en registros físicos en papel y comunicación verbal, hacia un sistema digitalizado que permita estructurar, centralizar y analizar la información generada por los eventos de falla. Esta transición representa no solo un cambio tecnológico, sino un cambio en la cultura operativa de la organización, en la que históricamente la gestión del

mantenimiento correctivo ha dependido del criterio individual de cada operador o técnico, sin una estructura formal de captura y almacenamiento de datos.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo general diseñar un sistema digital de reporte de mantenimiento correctivo que permita optimizar el registro, control y análisis de la información sobre fallas, equipos y tiempos de inactividad en la empresa objeto de estudio.

Para alcanzar este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos: analizar el contexto operativo de la empresa e identificar las limitaciones en el registro y gestión de información; levantar y definir el flujo de datos del proceso de mantenimiento correctivo, determinando los puntos críticos de captura y comunicación; diseñar e implementar un sistema web de reporte digital accesible mediante código QR, que optimice la notificación y el registro de fallas; y consolidar una base de datos estructurada en tiempo real que permita generar indicadores clave sobre fallas, tiempos de intervención y costos de mantenimiento.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

El mantenimiento industrial es definido como el conjunto de actividades técnicas y de gestión orientadas a la conservación o restauración de los activos físicos de una empresa, de forma que cumplan la función para la cual fueron diseñados o instalados. Según la ISO 14224 (2016), el mantenimiento incluye todas las acciones necesarias para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de equipos e instalaciones industriales, resaltando así la necesidad de un enfoque integral que va más allá de la simple respuesta ante fallas. Desde una perspectiva más estratégica, Mobley (2002) sostiene que el mantenimiento debe considerarse un proceso clave dentro de la gestión empresarial, dado que impacta directamente en los costos operativos, la seguridad industrial y la continuidad de los procesos productivos, conectando de esta forma los objetivos técnicos con los organizacionales.

### **2.1. Importancia del mantenimiento en los sistemas productivos**

La capacidad de producción de una empresa está determinada directamente por la disponibilidad y confiabilidad de sus equipos, por lo que la gestión del mantenimiento constituye un factor estratégico para la continuidad operativa. Wireman (2004) señala que una gestión deficiente del mantenimiento puede generar tiempos de inactividad prolongados que afectan la eficiencia global de la organización, incrementan los costos indirectos y reducen la capacidad de respuesta ante la demanda del mercado. En este sentido, el mantenimiento no debe concebirse como un gasto operativo, sino como una inversión orientada a preservar el valor de los activos industriales (Campbell & Reyes-Picknell, 2015).

Moubray (2001) indica que la verdadera importancia del mantenimiento radica en su contribución directa a la reducción de fallas, la optimización de recursos y la minimización de riesgos operativos. En entornos industriales, especialmente en el caso de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs), una gestión adecuada del mantenimiento permite sostener la competitividad organizacional al garantizar estabilidad en los procesos y evitar interrupciones no planificadas que comprometan los tiempos de entrega y la calidad del producto final. Blanchard (1995) complementa esta perspectiva al señalar que la mantenibilidad de los sistemas, entendida como la facilidad con que pueden ser restaurados tras una falla y no únicamente como una respuesta reactiva ante los problemas.

### **2.2. Tipos de mantenimiento**

En la literatura técnica, el mantenimiento es clasificado en distintos tipos según el momento de intervención y el enfoque adoptado. Esta clasificación permite que las empresas seleccionen la estrategia más adecuada en función de sus recursos, tecnología disponible y objetivos operativos. Entre

los principales tipos se encuentran el correctivo, el preventivo y el predictivo, ampliamente reconocidos en la gestión de activos industriales (Mobley, 2002; Moubray, 2001).

El mantenimiento correctivo se ejecuta una vez que la falla ocurre e impide el funcionamiento normal del equipo, siendo su objetivo principal restablecer la operatividad del activo en el menor tiempo posible. Según la ISO 14224 (2016), este tipo de mantenimiento es inherentemente reactivo y está asociado a paradas no planificadas. En las PYMEs, esta forma de mantenimiento tiende a ser predominante debido a limitaciones económicas y a la ausencia de procesos estructurados de gestión del mantenimiento (Wireman, 2004). Si bien presenta la ventaja de no requerir planificación compleja ni inversiones tecnológicas previas, una dependencia excesiva en el mantenimiento correctivo afecta negativamente la productividad, incrementa los costos indirectos por tiempos muertos y aumenta la variabilidad del proceso productivo (Moubray, 2001). Coetzee (1998) añade que la falta de registros históricos de fallas en este tipo de mantenimiento impide identificar patrones recurrentes, lo que perpetúa el ciclo reactivo e impide la evolución hacia estrategias más eficientes.

El mantenimiento preventivo consiste en intervenciones programadas a intervalos de tiempo específicos, con el objetivo de reducir la probabilidad de fallas mediante inspecciones, ajustes y reemplazos planificados (Mobley, 2002). La confiabilidad y disponibilidad de las máquinas son los pilares sobre los que se sustenta este enfoque, siendo la información estructurada un requisito indispensable para su correcta ejecución (Moubray, 2001). Eti et al. (2006) demuestran que la adopción de una cultura orientada a la confiabilidad, en el marco del mantenimiento preventivo, puede reducir significativamente los costos operativos totales al disminuir la frecuencia e impacto de las fallas no planificadas. Nakajima (1988), por su parte, establece que el Mantenimiento Productivo Total (TPM) representa una extensión del enfoque preventivo que involucra a todos los niveles de la organización en la preservación de los equipos, promoviendo la participación activa de los operadores en la detección temprana de anomalías.

El mantenimiento predictivo constituye la forma más avanzada de gestión del mantenimiento, basada en el monitoreo continuo de variables físicas como vibraciones, temperatura o desgaste, con el fin de predecir el momento óptimo de intervención antes de que ocurra una falla funcional (Jardine et al., 2006). Este enfoque permite optimizar el uso de recursos, minimizar tiempos de inactividad y mantener un control preciso sobre la planificación de la producción. Kothamasu et al. (2006) destacan que los sistemas de monitoreo de condición y pronóstico representan el estado del arte en la gestión de activos industriales, aunque su implementación suele requerir inversiones tecnológicas considerables que no siempre están al alcance de las PYMEs (Mobley, 2002). Peng et al. (2010) señalan que los avances en sensorica y procesamiento de datos han permitido reducir progresivamente los costos de estas soluciones, ampliando su accesibilidad a entornos industriales de menor escala.

### **2.3. Gestión del mantenimiento**

La gestión del mantenimiento comprende la planificación, organización, ejecución y control de todas las actividades orientadas a maximizar la disponibilidad de los equipos productivos al menor costo posible. Mobley (2002) la define como un proceso estratégico alineado con los objetivos de la organización, que requiere información estructurada y confiable para orientar la toma de decisiones. En este sentido, Salonen y Bengtsson (2011) argumentan que el desarrollo estratégico del mantenimiento implica un proceso de madurez organizacional que va desde la gestión reactiva hasta la integración del mantenimiento como parte de la estrategia de negocio, siendo la calidad de los datos un factor determinante en cada etapa de esa evolución.

La información es, por lo tanto, un recurso esencial para la gestión del mantenimiento. Redman (2008) sostiene que los datos incompletos o de baja calidad dificultan el análisis del desempeño de los equipos y limitan la identificación de oportunidades de mejora. La trazabilidad de los eventos de falla es fundamental para construir un historial confiable que permita identificar patrones recurrentes, evaluar el impacto de las intervenciones realizadas y sustentar decisiones basadas en evidencia. Pérez Jaramillo (2007) enfatiza que, en el contexto de las PYMEs latinoamericanas, la ausencia de sistemas de registro estructurados representa uno de los principales obstáculos para la profesionalización de la gestión del mantenimiento, ya que impide la transición desde un modelo reactivo hacia uno planificado y orientado a la mejora continua.

### **2.4. Sistemas de información aplicados al mantenimiento**

Los sistemas de información integran datos tanto operativos como administrativos con el fin de mejorar el control de los procesos industriales. Para el mantenimiento, estos sistemas deben ser capaces de centralizar información y mejorar la coordinación entre operadores y técnicos. Su importancia en una empresa llega a ser tal que ayuda a la eficiencia organizacional (Laudon & Laudon, 2004).

La digitalización frente a los procesos convencionales ayuda a reducir errores humanos y, sobre todo, mejora en la disponibilidad de la información. Este enfoque es especialmente relevante para PYMEs que buscan la mejora de sus procesos de mantenimiento. Los sistemas digitales permiten automatizar el cálculo de indicadores (Jardine et al., 2006).

La correcta estructura de la base de datos permite que la información se almacene de forma organizada y de manera coherente, esto facilita el análisis histórico y la generación de indicadores. La estructura adecuada de los datos garantiza su integridad y consistencia (Fernández Iglesias, 2023).

Aparte, su correcta estructura es determinante para la escalabilidad del sistema que comenzará con tecnologías en la nube.

La recolección y estructuración de los datos es uno de los pilares más importantes para asegurar una gestión de datos correcta. La calidad de los análisis y la posibilidad de moldear la información en indicadores útiles depende directamente en la forma en que los datos son capturados, organizados y almacenados. Bajo el contexto actual, de una dependencia del mantenimiento correctivo, es indispensable contar con mecanismos que permitan una obtención de información confiable y, sobre todo, completa.

Los datos mínimos requeridos para el mantenimiento correctivo refieren mucho en la identificación del equipo, descripción detallada de la falla, fecha y hora de ocurrencia, tiempos de intervención, personal involucrado y recursos utilizados. Estos datos permiten reconstruir el evento de falla y evaluar su impacto dentro de las operaciones productivas. Estos elementos son los mínimos fundamentales para el análisis de confiabilidad y desempeño de los equipos (*ISO 14224*, 2016).

La definición correcta de los datos para el sistema garantiza que el análisis posterior y la construcción de indicadores de rendimiento sean de calidad y, sobre todo, útiles dentro del contexto empresarial. La ambigüedad en los datos siempre dificulta la trazabilidad de los eventos y limita la capacidad de aprendizaje a partir de las fallas ocurridas.

Los formularios digitales son un eslabón de todo el sistema de gestión de datos y representan una herramienta eficaz para estandarizar la captura de información en los procesos de mantenimiento. En contraste de los formularios manuales, los formularios pueden tener lógica interna como es determinar campos obligatorios, validaciones automáticas o estandarización de respuestas, lo cual reduce el factor humano al mínimo y por consecuente los errores de registro. El uso de herramientas digitales mejora la confiabilidad y consistencia de la información dentro de los sistemas de información (Laudon & Laudon, 2004).

El registro de datos en formularios digitales es el primer paso de un flujo de datos que termina con la toma de decisiones a partir de la lectura de indicadores clave. Un flujo definido con claridad asegura que la información generada a partir de las fallas llegue al destino final sin pérdidas o alteraciones. La importancia de definir responsabilidades claras en cada etapa de la captura de datos para evitar vacíos de información (Moblely, 2002).

Y, por último, la confiabilidad de los datos es crucial en este tema, y la mejor manera de hacer es la estandarización de las respuestas. Al reducir la intervención manual y establecer criterios claros y preestablecidos en el registro de datos fortalece la integridad de la base e incrementa el valor de la información generada. La mala calidad de los datos representa uno de los principales obstáculos para la gestión basada en información en las organizaciones (Redman, 2008).

## **2.5. Indicadores de mantenimiento**

Evaluar constantemente el desempeño de las actividades de mantenimiento y su impacto en las operaciones productivas es vital para la mejora continua. A partir de los datos recolectados, los indicadores son capaces de traducir esa información en conocimiento tangible y útil para la gestión y toma de decisiones. Determinar los mejores indicadores y, sobre todo, necesarios bajo el contexto de la empresa es clave para no caer en el exceso de información o información que no sea relevante para la empresa.

Los indicadores clave de desempeño (KPIs) permiten medir constantemente el cumplimiento de los objetivos de un área en específico. Son herramientas esenciales para la mejora continua, ya que permiten identificar desviaciones y oportunidades de optimización (Wireman, 2004). Son facilitadores de comparación a lo largo del tiempo.

El enfoque correcto para un sistema de gestión de mantenimiento debe ser en evaluar el comportamiento y la confiabilidad de los equipos industriales de una fábrica. Con el fin de comprender la capacidad operativa, identificar patrones de fallas y analizar el desempeño técnico del mantenimiento correctivo. Dentro de estos, existen tres indicadores mínimos fundamentales; tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad de los equipos en un período determinado de tiempo.

### **2.5.1. Indicadores técnicos de mantenimiento**

El tiempo medio entre fallas (MTBF) mide el espacio de tiempo funcional del equipo entre una falla y la siguiente, siendo éste el indicador exacto de la confiabilidad de un equipo. El MTBF es fundamental para evaluar el desempeño real de los equipos y detectar aquellos con mayor propensión a fallas (Moblely, 2002). Un MTBF bajo indica problemas recurrentes que se pueden traducir como necesidad de mejoras en diseño, operación o mantenimiento en el equipo.

El tiempo medio de reparación (MTTR) es el indicador que evalúa la capacidad del departamento de mantenimiento respecto a su eficiencia para restaurar una máquina y ponerla en funcionamiento. Este indicador mide el tiempo promedio requerido para restablecer un equipo tras una falla. Es considerado un indicador clave en el control operativo, reflejando la capacidad de respuesta (Wireman, 2004). La reducción del MTTR responde a mejorar capacidad de respuesta con acciones como disponer de los repuestos necesarios o mano de obra capacitada.

En el caso de la disponibilidad de los equipos se basa en relacionar el tiempo en que un equipo se encuentra operativo con el tiempo total considerado. Este indicador es esencial para la planificación

productiva, ya que refleja la capacidad real de una fábrica para cumplir demandas de producción (Moubray, 2001). Mantener una alta disponibilidad es el resultado de una correcta gestión del mantenimiento y de tiempos de reparación reducidos.

### **2.5.2. Indicadores de gestión de mantenimiento**

Este tipo de indicadores tienen otro ámbito de acción, se alejan de lo técnico y se acercan a lo administrativo. Permiten evaluar el impacto del mantenimiento desde una perspectiva integral y económica, siendo un complemento perfecto a los indicadores técnicos. Dentro de estos se encuentran; la frecuencia de fallas, costos de mantenimiento o tiempo de inactividad.

La frecuencia de fallas mide el número de eventos de errores de la planta en general durante un período de tiempo determinado. Y es muy importante por identificar activos críticos y analizar la recurrencia de fallas dentro del proceso productivo. El análisis de este indicador facilita la priorización de acciones correctivas y preventivas, permitiendo enfoque de recursos en aquellos equipos que generan mayores interrupciones operativas.

Los costos de mantenimiento permiten evaluar el impacto económico en mano de obra y repuestos de todas las actividades que como área de mantenimiento se realizan. Este indicador se calcula de forma integral incluyendo costos asociados a la mano de obra, repuestos, materiales y servicios requeridos para la ejecución. El control y análisis de costos es esencial para comprender la magnitud de daños promedio.

El tiempo de inactividad promedio mide el período en el que un equipo no se encuentra disponible. Este indicador es fundamental para comprender el impacto del mantenimiento sobre la productividad y la eficiencia del sistema productivo. Una mejora en este tiempo significa mejorar directamente la competitividad de la empresa, aparte sirve como una holgura a tomar en cuenta al momento de realizar la planificación de producción.

### **2.6. Justificación del modelo de disponibilidad en paralelo**

Para el cálculo de la disponibilidad global por línea de producción, se evaluaron dos modelos matemáticos ampliamente reconocidos en la literatura de confiabilidad industrial: el modelo en serie y el modelo en paralelo.

El modelo en serie establece que la disponibilidad del sistema equivale al producto de las disponibilidades individuales de cada componente, lo que implica que cualquier falla en un elemento provoca la indisponibilidad total del sistema (Blanchard, 1995; Smith & Hinchcliffe, 2004). Sin embargo, este modelo no representa con fidelidad la realidad operativa de las líneas de producción de la empresa, dado que la configuración física de las mismas no responde a una lógica de dependencia

total entre máquinas. En la mayoría de los casos, la falla de una máquina no detiene la línea en su totalidad, sino que genera una reducción parcial de la capacidad productiva, permitiendo que el resto de los equipos continúen operando.

Adicionalmente, la configuración de las líneas no es homogénea: algunas presentan redundancia entre equipos, mientras que otras no. Esta heterogeneidad refuerza la necesidad de adoptar un modelo que refleje la capacidad funcional real del sistema en lugar de asumir una dependencia estricta entre todos sus componentes.

Por estas razones, se optó por un modelo de disponibilidad en paralelo, el cual considera que el sistema mantiene su funcionalidad mientras al menos uno de sus componentes se encuentre operativo (Moubray, 2001; Dhillon, 2006). Este enfoque permite obtener indicadores de disponibilidad que representan con mayor precisión el desempeño operativo observado en planta y que resultan más útiles como base para la toma de decisiones a nivel gerencial y de planificación productiva.

Esta decisión metodológica está respaldada por la práctica documentada en ingeniería de confiabilidad, donde la selección del modelo de cálculo debe responder a la configuración funcional real del sistema y no aplicarse de forma genérica (Smith & Hinchcliffe, 2004).

### 3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación surge a partir de una necesidad detectada directamente en el área de producción y mantenimiento de la empresa. Durante el desarrollo de las actividades operativas se observó que el proceso de reporte de fallas presentaba demoras en la comunicación, duplicidad de registros y poca trazabilidad de la información técnica generada.

A partir de esta situación, se planteó la implementación de una solución digital que permitiera organizar el flujo de información entre los departamentos involucrados. Contiene un enfoque aplicado ya que no se limita únicamente al análisis del problema, sino que interviene directamente en el proceso real de la empresa mediante el diseño e implementación de un sistema de reporte y seguimiento de fallas.

El estudio contiene también un componente cuantitativo, dado que la información recopilada a través de los formularios digitales permite generar datos medibles relacionados con tiempos de intervención, frecuencia de fallas y variabilidad.

#### 3.1. Etapas de desarrollo

Para llevar a cabo el desarrollo del sistema de reporte de mantenimiento de manera correcta se debe establecer una secuencia de pasos específicos que primero definan el alcance del proyecto, marquen una ruta a seguir y así aseguren alcanzar el resultado esperado. En la **Tabla 1** se puede observar todas etapas que abarcará el proyecto y su descripción.

**Tabla 1.** Etapas del desarrollo del proyecto.

<b>Etapas</b>	<b>Descripción</b>
Diagnóstico	Análisis del proceso tradicional de reporte de fallas y levantamiento de la información
Diseño	Estructuración del sistema digital y formularios
Implementación	Puesta en funcionamiento del sistema en planta
Evaluación	Análisis de mejoras operativas

#### 3.2. Herramientas tecnológicas utilizadas

Para el desarrollo e implementación del sistema digital de reporte de mantenimiento correctivo se utilizaron herramientas tecnológicas de acceso abierto y bajo costo, lo cual refuerza la viabilidad y replicabilidad de la solución propuesta en entornos similares al de la empresa objeto de estudio.

La estructuración y visualización de los flujos de información se realizó mediante LucidChart, herramienta de diagramación en línea que permitió mapear el proceso actual y el proceso digitalizado de forma clara y comunicable para todos los actores involucrados.

Como núcleo del sistema, se utilizó Google Sheets como base de datos centralizada. Esta herramienta permitió consolidar en un único archivo las bases de datos previamente dispersas entre los departamentos de Producción y Mantenimiento, garantizando acceso compartido, actualización en tiempo real e integridad de la información.

La lógica de automatización y la interfaz de los formularios digitales fueron desarrolladas mediante Google Apps Script, una plataforma de scripting basada en JavaScript que permite la creación de aplicaciones web integradas al ecosistema de Google. A través de esta herramienta se construyeron los formularios interactivos en HTML, se programó la generación automática de identificadores únicos y se configuraron las notificaciones automáticas por correo electrónico.

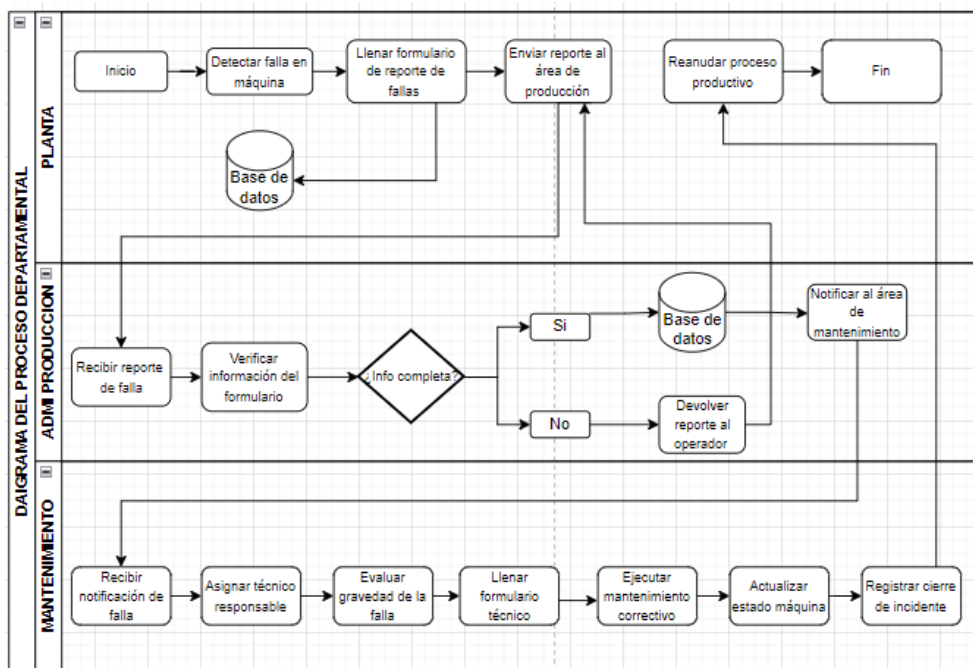
Finalmente, los códigos QR asignados a cada máquina fueron generados mediante Canva, herramienta de diseño gráfico que permitió crear e identificar visualmente cada código de forma rápida y sin costo adicional.

**Tabla 2.** Stack de herramientas tecnológicas utilizadas

Herramienta	Utilización
LucidChart	Diagramación de flujos
Google Sheets	Centro de datos
Google Apps Script	Front-end y Back-end del sistema
Canva	Realización de QR

### 3.3. Diagnóstico del proceso tradicional

En la etapa inicial del proyecto se realizó un diagnóstico completo del proceso de reporte de mantenimientos correctivos, a su vez, se hizo el levantamiento de toda la información existente; bases de datos que se manejan, formularios físicos, banco de máquinas existentes. Con esta información disponible, se puede plasmar el proceso y el flujo de información actual. La etapa de diagnóstico y levantamiento de información es crucial porque plantea de primera línea todas las dificultades que van a aparecer a futuro.



**Figura 1.** Flujo de la información del proceso actual

Como se puede observar en la **Figura 1**, después de levantar el proceso actual se tiene un panorama general de las bases de datos existentes, la duplicidad de la información y sobre todo la oportunidad de mejora que es la base de nuestro proyecto. Como parte de este punto, se presentan a continuación todos los hallazgos identificados, en la **Tabla 3** se muestra de forma sistemática la situación general conseguida después de realizar el diagnóstico del proceso.

**Tabla 3.** Condiciones del sistema antes de su implementación

Aspecto	Situación inicial
Medio de reporte	Verbalmente
Registro de información	Manual
Base de datos	Dos independientes
Confirmación de cierre	Verbal
Acceso compartido	No

### 3.4. Identificación de problemáticas

Como consecuencia de llevar un proceso manual es inherente que existen problemas como; duplicidad de información, procesos largos y poco controlados o una falta de trazabilidad completa. En la **Tabla 4** se explica a detalle todos los problemas detectados en el proceso actual que a día de hoy

se presenta como un proceso que está fuera del control de la empresa y que es el corazón de la producción, ya que afecta directamente a la disponibilidad de sus máquinas.

**Tabla 4.** Problemas detectados

<b>Problema</b>	<b>Consecuencia</b>
Doble registro	Riesgo de inconsistencias
Retraso en notificación	Mayor tiempo de parada
Falta de trazabilidad	Dificultad para análisis históricos
Dependencia administrativa	Cuello de botella informativo

### **3.5. Diseño del sistema y formulario digital integrado**

Con el levantamiento del proceso y la información disponible sobre el proceso de reporte de mantenimientos, se parte desde una base sólida de conocimiento sobre las áreas involucradas y la necesidad de información personalizada para cada una de las mismas. A continuación, se describen los actores involucrados, la necesidad de información y la propuesta de diseño.

En la **Tabla 5** se establece quienes son los departamentos o áreas involucradas dentro del proceso y su necesidad de disponibilidad de información

**Tabla 5.** Áreas involucradas en el proceso de reporte de mantenimiento correctivo

Área	Función	Disponibilidad de información
Planta	Reportar fallas	No
Producción	Supervisión, data entry	Si
Mantenimiento	Ejecución, data entry	Si

Después de tener un mapeo general sobre quiénes necesitan disponibilidad de información, se definió qué información requiere cada área. En la **Tabla 6** y **Tabla 7** se establece qué datos se van a recoger en el formulario del operador y en el formulario del técnico, respectivamente.

**Tabla 6.** Formulario del Operador

<b>Campo</b>	<b>Función</b>
Línea de producción	Identificar ubicación
Máquina	Determinar equipo afectado

Operador	Responsable del reporte
Tipo de falla	Clasificación inicial
Falla	Detalle específico

**Tabla 7.** Formulario del Técnico

<b>Campo</b>	<b>Función</b>
ID de registro	ID que conecta ambos formularios
Técnico	Responsable del reporte
Gravedad	Clasificación inicial
Horas de intervención	Cantidad de esfuerzo de mano de obra
Solución	Detalle específico

La consolidación de estos dos formularios dará como resultado una base de datos sólida que va a permitir trazabilidad completa sobre el proceso de mantenimiento correctivo. Y, lo más importante aún, es que satisface las necesidades de todas las áreas involucradas con el fin de que a lo largo del tiempo sea posible construir indicadores y KPIs diseñados a medida de las necesidades sin alterar la base de datos, ni el sistema.

### **3.6. Integración interdepartamental**

Uno de los cambios más importantes implementados fue la consolidación de la información en una sola base de datos. En comparación con el proceso anterior, los departamentos de producción y mantenimiento pueden visualizar la misma información en tiempo real. En la **Tabla 8** se muestra una comparativa de la realidad del proceso y su evolución con la propuesta de digitalización y automatización.

**Tabla 8.** Comparación antes y después

<b>Característica</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>
Base de datos	2	1
Registro inicial	Administrativo	Operador directo
Notificación	Verbal	Automática
Cierre técnico	Verbal	Digital

Una parte importante de aclarar, la intención de automatizar el flujo de datos creando una base de datos unificada y digitalizando los formularios es; acortar el camino que recorre la información, evitar pérdida de la misma y disminuir los tiempos de respuesta ante una falla reportada. Por lo tanto, el valor agregado de la propuesta desarrollada radica fundamentalmente en la digitalización y automatizando del flujo de datos.

### 3.7. Variables utilizadas e indicadores

El centro de todo sistema radica en la robustez de los datos que recoge, y como se explicó anteriormente, la base de datos para el sistema será la consolidación del formulario técnico y el formulario del operador. Siempre procurando que la información disponible satisfaga la necesidad de indicadores para cada área involucrada. En la **Tabla 9** se explican las variables de la base de datos, su tipo y la unidad de medida.

**Tabla 9.** Variables registradas en el sistema.

Variable	Descripción	Tipo	Unidad
ID	ID generado automáticamente	Cualitativa	-
FECHA_REPORTE	Momento en el que el operador registra la falla	Cuantitativa	Fecha-Hora
LINEA	Línea de producción donde ocurre falla	Cualitativa	14 líneas disponibles
CODIGO	Clasificación de cada máquina	Cualitativa	Codificación previa de cada línea
MAQUINA	Máquina donde se detectó la falla	Cualitativa	Listados de 118 máquinas disponibles
OPERADOR	Operador quien detecta la falla	Cualitativa	Listado de 20 operadores
TIPO	Responsable de intervención	Cualitativa	Mecánico, eléctrico, hidráulico, automatización, operacional
FALLA	Descripción técnica de la reparación	Cualitativa	Listado de 31 errores comunes

FECHA_MTTO	Momento que el técnico registra la solución	Cuantitativa	Fecha-Hora
TECNICO	Técnico quien realizó el mantenimiento	Cualitativa	Listado de 2 técnicos
GRAVEDAD	Nivel crítico asignado por mantenimiento	Cualitativa	Leve, parcial, total
SOLUCIÓN	Espacio abierto para describir lo realizado	Cualitativa	-
HORAS	Tiempo utilizado en la reparación	Cuantitativa	Horas por mantenimiento
COSTO_MO	Gasto en mano de obra	Cuantitativa	Dólares por mantenimiento

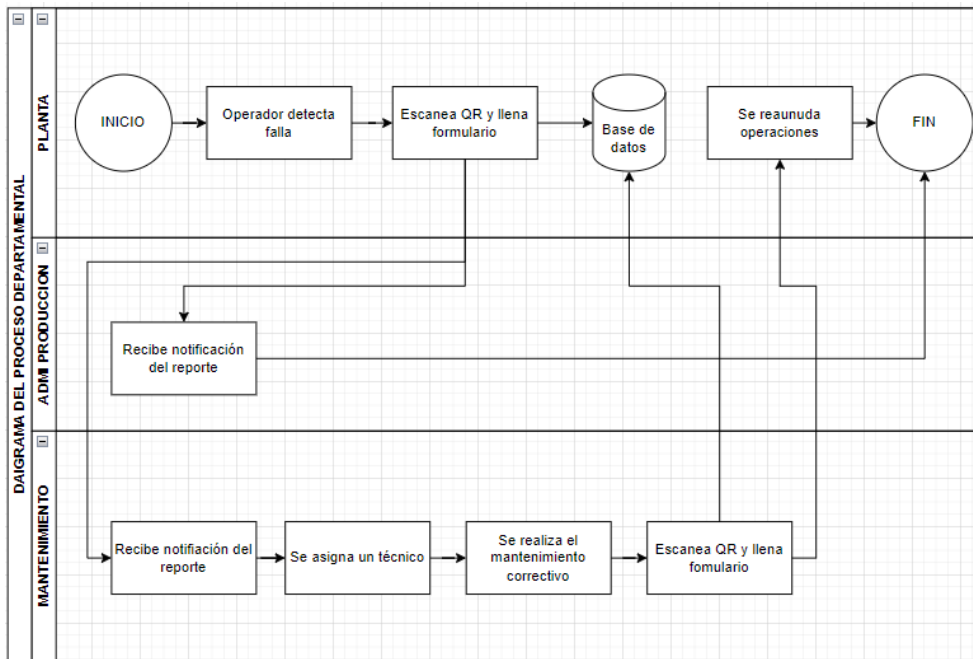
Estas variables son el producto de una evaluación profunda que buscó evaluar la relación de toda la información manejada entre las áreas involucradas. A partir de esta base de datos se van a plantear dos tipos de indicadores: indicadores técnicos e indicadores operativos. En la **Tabla 10** se plantea el indicador y su fórmula.

**Tabla 10.** Indicadores y fórmulas utilizadas

INDICADOR	FÓRMULA
Frecuencia de fallas por máquina (FFM)	$FFM = \frac{NF}{T} \quad (1)$
Distribución porcentual por falla (DPF)	$DPF = \frac{NF_{tipo}}{N_{total}} * 100 \quad (2)$
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{FECHA_{REPORTE} - FECHA_{MTTO}(i-1)}{N} \quad (4)$
Tiempo medio para reparar (MTTR)	$MTTR = \frac{FECHA_{MTTO} - FECHA_{REPORTE}}{N} \quad (5)$

### 3.8. Implementación y estandarización del flujo de trabajo

Como se explicó desde un inicio, el propósito principal del proyecto es; reducir errores humanos en la traducción de información, acortar el flujo de información y mejorar la disponibilidad de la misma a través de la digitalización del proceso y la automatización de los datos. Después de la aplicación podemos diagramar una nueva realidad en el comportamiento del proceso de reporte de mantenimientos correctivos.



**Figura 2.** Diagrama de flujo con el sistema implementado.

De la misma forma, en la que el proceso cambió, el rol que cumple cada área involucrada también lo hizo. Se puede hacer una comparación entre la **Tabla 5** y la **Tabla 11** para evidenciar estos cambios.

**Tabla 11.** Participación actual por departamento

Departamento	Rol
Planta	Reporte
Producción	Visualización
Mantenimiento	Ejecución y cierre

## 4. RESULTADOS

El desarrollo del sistema, como se explicó a detalle en la metodología, fue una consecuencia de varias etapas que comprendieron desde el levantamiento de la información hasta la migración de los datos que ya existían al nuevo entorno desarrollado. Por lo tanto, se presenta la evolución entre lo que existía y lo que se desarrolló por cada etapa.

### 4.1. Estandarización de la Información

Previo al desarrollo del sistema digital, el proceso de registro del mantenimiento correctivo se realizaba mediante formularios físicos. Estos documentos contemplaban campos básicos como línea de producción, máquina, nombre del operador y observación de la falla. Sin embargo, al tratarse de registros manuales, se evidenciaron múltiples inconsistencias asociadas a errores de digitación y ausencia de criterios de normalización. Revisar la **Tabla 12** que muestra una comparativa general de lo que estamos tratando. Entre los principales problemas detectados se identificaron:

- Variaciones en la nomenclatura de las líneas de producción (ej. “LÍNEA DE ASAS”, “ASAS”, “LINEA ASAS”).
- Diferentes denominaciones para una misma máquina.
- Uso de apodos o nombres incompletos por parte de los operadores.
- Falta de categorización estandarizada de fallas.

**Tabla 12.** Tabla comparativa de problemas e inconsistencias.

VARIABLE	MANUAL	DIGITAL
Línea de Producción	Se necesitaba escribir, presentaba siempre inconsistencias	Opciones estandarizadas, sin necesidad de digitar
Máquina	La mayor parte de inconsistencias son por multiformato de datos	Opciones estandarizadas, sin necesidad de digitar
Operador	Las inconsistencias más comunes son por digitar el “apodo” del operador y no su nombre real.	Opciones estandarizadas, sin necesidad de digitar
Tipo de Falla	No existe este campo	Opciones estandarizadas, sin necesidad de digitar
Falla	Campo abierto que permitía al operador expresar el “porqué” del daño	Opciones estandarizadas, se han puesto las más comunes y es posible agregar o eliminar

Estas inconsistencias impactaban directamente en la calidad de las bases de datos utilizadas por los departamentos de Producción y Mantenimiento, limitando la posibilidad de realizar análisis estadísticos confiables, estudios de recurrencia o evaluación de desempeño técnico.

Como solución, en la **Figura 3** se visualiza el formulario del operador, se diseñó un formulario digital que extrae automáticamente la información desde una base de datos estructurada, incorporando:

- Listas desplegables con nombres normalizados de líneas y máquinas.
- Código único de máquina.
- Selección predefinida del operador.
- Categorías únicas de fallas.
- Generación automática de ID de reporte.

**Reporte de Falla - Operador**

Línea de Producción  
LINEA DE BASES

Máquina  
ROLADORA DE BASES

Operador  
MATEO JOSUE

Tipo de Falla  
FALLA MECANICA

Falla  
Fallas en sistema de tracción.

Enviar Reporte

**Figura 3.** Vista del Formulario del Operador.

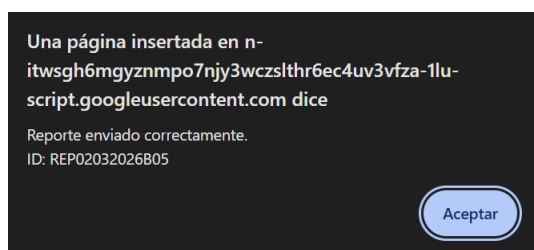
El identificador único de reporte (ID) constituye el elemento central que garantiza la trazabilidad completa del proceso de mantenimiento correctivo dentro del sistema. Su función va más allá de ser un simple código de referencia: actúa como el vínculo que conecta el reporte inicial del operador con el cierre técnico realizado por el área de mantenimiento, permitiendo que ambos registros, generados en momentos distintos y por actores diferentes, converjan en una única fila de la base de datos centralizada.

La estructura del ID fue diseñada de forma deliberada para que sea informativa por sí sola. La combinación del prefijo *REP*, la fecha en formato *ddmmaaaa* y el código único de máquina permite identificar de manera inmediata el equipo afectado, el momento del evento y el tipo de registro, sin necesidad de consultar campos adicionales. Esta lógica facilita además la búsqueda, filtrado y análisis histórico dentro de la base de datos.

**Tabla 13.** Estructura del ID de reporte.

ESTRUCTURA DEL ID REPORTE
REP + Fecha (ddmmaaaa) + Código de máquina

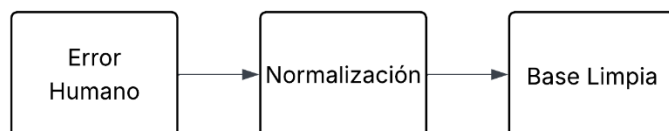
Desde el punto de vista operativo, la generación automática del ID, visible en la **Figura 4**, elimina la posibilidad de duplicidad o error humano en su asignación, ya que el sistema lo construye y registra de forma autónoma en el momento en que el operador completa y envía el formulario. Este ID es posteriormente reconocido por el formulario del técnico, quien lo utiliza para vincular su intervención al reporte original, cerrando así el ciclo de trazabilidad del evento de falla de extremo a extremo.



**Figura 4.** Generación de ID creada automáticamente

Con esta implementación:

- Se eliminó la digitación libre en campos críticos.
- Se redujo el margen de error humano.
- Se estableció una única estructura de datos.
- Se creó una base de datos centralizada y normalizada.



- Problemas de digitación
- Campos abiertos
- Multiformato de datos
- Elimina la digitación por parte del operador
- Limita la variabilidad de entradas

**Figura 5.** Evolución de los datos

Cabe destacar que el formulario del técnico, visible en la **Figura 6**, mantiene una estructura parcialmente abierta para describir la intervención realizada. No obstante, los campos correspondientes al nombre del técnico y la gravedad de la falla (leve, parcial, total) se encuentran estandarizados.

**Figura 6.** Visualización del Formulario del Técnico

#### 4.2. Centralización de la Base de Datos

En el modelo previo, cada departamento gestionaba su propia base de datos de manera independiente. El área de Producción registraba la información proveniente de los formularios físicos, mientras que el departamento de Mantenimiento consolidaba su propio registro posterior a la intervención técnica. Esta separación generaba:

- Duplicidad de información.
- Inconsistencias entre registros.
- Ausencia de trazabilidad cruzada.
- Retrasos en la comunicación interdepartamental.

Con la implementación del sistema digital se desarrolló una base de datos única y centralizada que integra la información tanto del reporte inicial del operador como del informe técnico de mantenimiento.

Adicionalmente, el sistema incorpora notificaciones automáticas vía correo electrónico dirigidas simultáneamente al jefe de Producción y al jefe de Mantenimiento, garantizando comunicación inmediata sin necesidad de desplazamientos físicos. La centralización permite que cada departamento pueda realizar análisis independientes extrayendo únicamente los campos de interés, manteniendo siempre la integridad y unicidad del registro original.

**Tabla 14.** Evolución del tratamiento de datos

Aspecto	Antes	Después
Registro inicial	Formulario físico	Formulario digital con validación
Bases de datos	Separadas por departamento	Base de datos única centralizada

Comunicación	Manual y verbal	Notificación automática por correo
Trazabilidad	Limitada	Total, mediante ID único
Calidad de datos	Inconsistente	Campos normalizados
Tiempo de notificación	Variable y prolongado	Inmediato
Análisis estadístico	Limitado	Automatizado y confiable

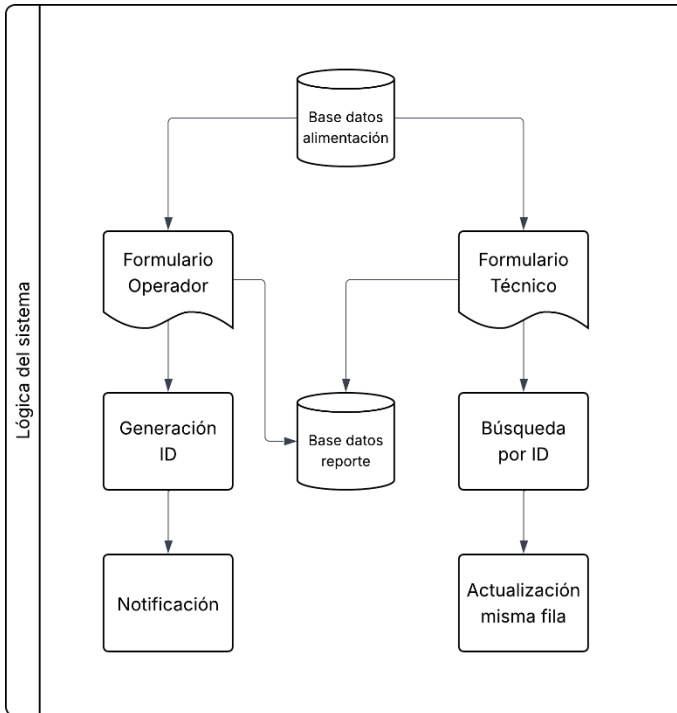
### 4.3. Automatización del Flujo de Información

El flujo de información previo presentaba múltiples etapas intermedias que incrementaban el tiempo de respuesta y la probabilidad de pérdida o duplicación de información. Proceso anterior:

1. Operador detectaba falla.
2. Se desplazaba a un punto físico para obtener el formulario.
3. Llenado manual.
4. Entrega al jefe de Producción.
5. Registro manual en base de datos.
6. Notificación al jefe de Mantenimiento.
7. Intervención técnica.
8. Registro en segunda base de datos.

Este modelo implicaba retrabajo administrativo y alto consumo de tiempo operativo. Con el nuevo sistema, cada máquina dispone de un código QR que direcciona directamente al formulario digital. El nuevo flujo es:

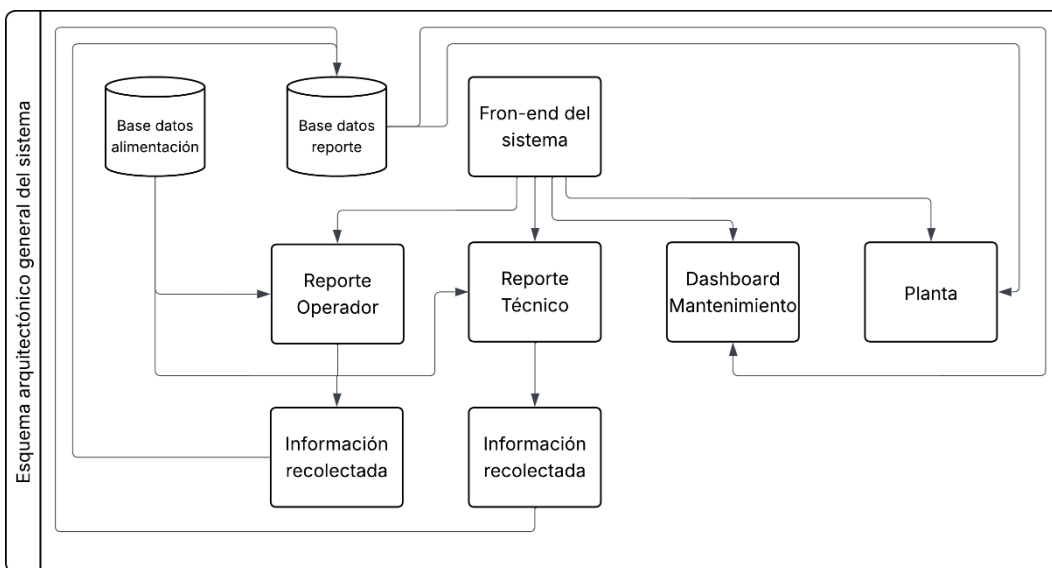
1. Operador escanea QR.
2. Completo formulario digital.
3. Se genera automáticamente ID único.
4. Se envía notificación inmediata.
5. Técnico completa intervención en el mismo registro.
6. Información consolidada en una sola fila de la base de datos.



**Figura 7.** Lógica general del sistema











Esto permitió eliminar procesos intermedios y garantizar integridad en la trazabilidad del mantenimiento correctivo. La automatización se sustenta en una lógica estructurada que conecta:

- Base de datos general.
- Formularios dinámicos.
- Generación automática de identificadores.
- Sincronización de datos mediante ID único.



**Figura 8.** Esquema arquitectónico general del sistema de reporte de mantenimiento.

En la **Figura 8** se presenta el esquema arquitectónico general del sistema a nivel estructural. La materialización de esta arquitectura fue desarrollada en Google Apps Script, herramienta que actúa como núcleo del sistema al integrar tanto el desarrollo front-end como el back-end en un mismo entorno de codificación. La organización de los archivos generados dentro de esta plataforma se puede observar en la **Figura 9**.

Mis proyectos		
Proyecto	Propietario	Última modificación ↓
 INDICADORES MANTENIMIENTO 	Yo	10 mar 2026
 HOME 	Yo	9 mar 2026
 LAYOUT 	Yo	9 mar 2026
 FORMULARIO OPERADOR 	Yo	9 mar 2026
 FORMULARIO TÉCNICO 	Yo	9 mar 2026

**Figura 9.** Archivos de código de Google Apps Script

Existe una correlación directa entre la arquitectura propuesta en la **Figura 8** y los archivos implementados en el entorno de Google Apps Script. En la **Tabla 15** se establece la relación entre el componente teórico del esquema arquitectónico y su correspondiente implementación práctica dentro de la plataforma.

**Tabla 15.** Correspondencia entre el esquema arquitectónico y los archivos de Google Apps Script

Google Apps Script	Esquema Arquitectónico	Función
Indicadores Mantenimiento	Dashboard Mantenimiento	Se alimenta de la base de datos de reporte y automatiza el cálculo de los indicadores técnicos, presentando los resultados en un dashboard de visualización.
Layout	Planta	Se alimenta de la base de datos de reporte y genera una visualización general de la planta, mostrando el porcentaje de disponibilidad por línea de producción.
Formulario	Reporte Operador	Antes de desplegarse en el front-end, recupera la

Operador		información necesaria desde la base de datos de alimentación. Una vez completado el reporte, los datos se almacenan automáticamente en la base de datos de reporte.
Formulario Técnico	Reporte Técnico	Sigue la misma lógica que el Formulario del Operador: recupera información desde la base de datos de alimentación, procesa el reporte y almacena los datos en la base de datos de reporte.
Home	-	Archivo de integración que no forma parte del esquema arquitectónico como módulo funcional independiente, ya que su función es consolidar todos los componentes del sistema y presentarlos bajo una única interfaz de acceso.

#### 4.4. Implementación de Indicadores Técnicos

Con la estandarización y centralización de los datos, fue posible implementar indicadores técnicos automáticos que anteriormente no podían calcularse con precisión debido a la baja calidad de la información.

Los principales indicadores implementados fueron:

- MTTR (Mean Time to Repair)
- MTBF (Mean Time Between Failures)
- Línea con mayor número de fallas
- Máquina con mayor recurrencia de fallas
- Número total de fallas por periodo determinado

**Tabla 16.** Aplicación de fórmulas y resultado de indicadores técnicos.

Indicador	Fórmula	Resultado
MTTR	$MTTR = \frac{FECHA_{MTTO} - FECHA_{REPORTE}}{N} (1)$	1.06 hr.
MTBF	$MTBF = \frac{FECHA_{REPORTE} - FECHA_{MTTO(i-1)}}{N} (2)$	111.3 hr.

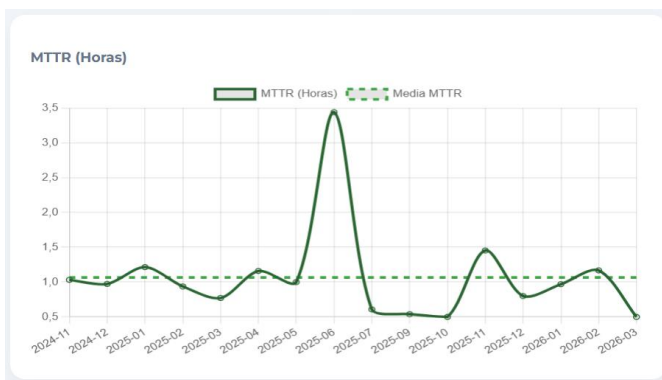
Los indicadores técnicos presentados en este trabajo (MTTR y MTBF) fueron calculados a partir de un total de 141 registros de mantenimiento correctivo, correspondientes al período comprendido entre noviembre de 2024 y marzo de 2026, fecha que representa el corte de muestra del

presente estudio. Este volumen de datos constituye la totalidad de los eventos registrados desde la implementación del sistema digital, por lo que los resultados obtenidos reflejan el comportamiento real del proceso durante dicho período.

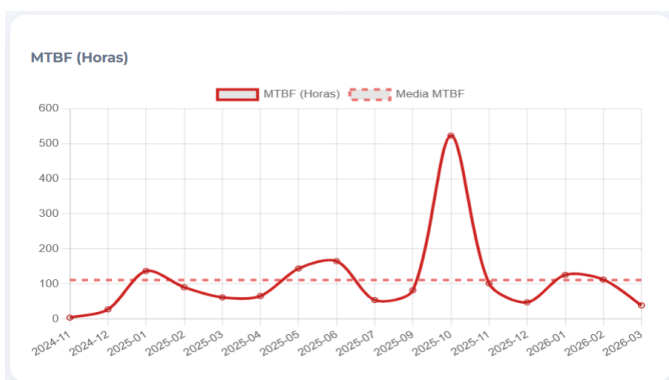


**Figura 10.** Aplicación de indicadores administrativos para mantenimiento correctivo

El MTTR calculado de 1.06 horas indica que, en promedio, el equipo técnico requiere poco más de una hora para restablecer la operatividad de una máquina tras la ocurrencia de una falla. Por su parte, el MTBF de 111.3 horas refleja el tiempo promedio de operación continua entre eventos de falla, lo que representa aproximadamente 4.6 días de funcionamiento sin interrupciones no planificadas entre un evento y el siguiente.



**Figura 11.** Comportamiento histórico de MTTR en el mantenimiento correctivo.



**Figura 12.** Comportamiento histórico de MTBF en el mantenimiento correctivo

Si bien el horizonte temporal del estudio es relativamente reciente, la cantidad de registros obtenidos permite establecer una línea base confiable para el seguimiento y evaluación del desempeño del sistema de mantenimiento a largo plazo. A medida que la base de datos continúe creciendo, los indicadores ganarán mayor representatividad estadística y permitirán identificar tendencias, estacionalidades y patrones de falla con mayor precisión.

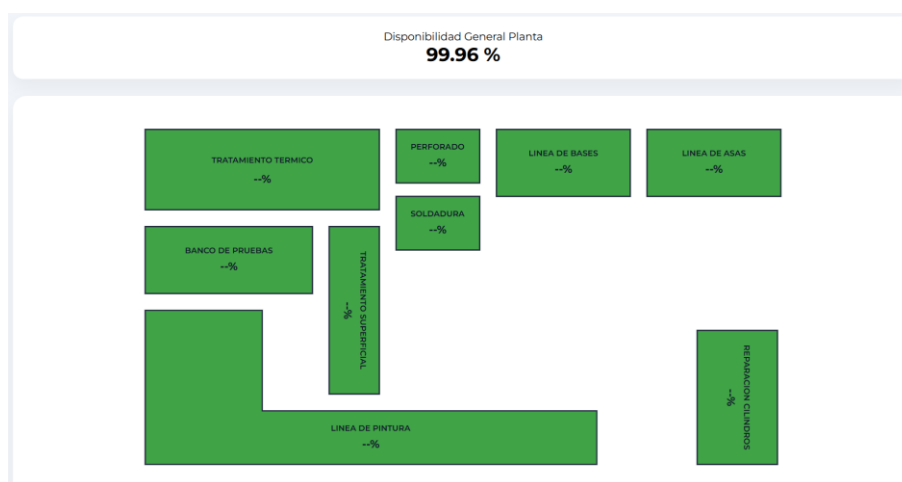
Todos los indicadores se calculan automáticamente a partir de la base de datos consolidada, garantizando consistencia y actualización permanente. Estos indicadores permiten:

- Evaluar desempeño técnico.
- Identificar cuellos de botella.
- Priorizar acciones de mejora.
- Apoyar la toma de decisiones estratégicas.

#### 4.5. Visualización de Disponibilidad por Línea

Se desarrolló un módulo visual que presenta el porcentaje de disponibilidad de cada línea de producción. Si bien la disponibilidad puede calcularse individualmente por máquina, se consideró más relevante evaluar el comportamiento global por línea, dado que el proceso productivo opera bajo una configuración en serie.

Sin embargo, al aplicar el cálculo tradicional en serie (multiplicación de disponibilidades individuales), el resultado reflejaba valores extremadamente bajos que no representaban fielmente la realidad operativa. Por ello, se optó por un modelo de cálculo paralelo para estimar la disponibilidad global de la línea, obteniendo valores más representativos del desempeño real. La disponibilidad se calcula automáticamente con base en los últimos 30 días históricos. Este módulo permite identificar líneas críticas y priorizar intervenciones estratégicas.



**Figura 13.** Visualización general de la disponibilidad de líneas de producción en planta.

#### 4.6. Digitalización Mediante Código QR

Como fase final del proyecto, se implementó la digitalización del acceso mediante códigos QR ubicados en cada máquina. Estos códigos redireccionan directamente al formulario correspondiente, eliminando cualquier barrera física en el proceso de reporte.

La integración de estos módulos consolida un ecosistema digital completo para la gestión del mantenimiento correctivo. Además, se desarrolló un entorno front-end que funciona como sistema de acceso estructurado, compuesto por cuatro módulos:

1. Formulario del operador.
2. Formulario del técnico.
3. Layout de planta con disponibilidad.
4. Panel de indicadores técnicos.



Figura 14. QR del formulario del operador



Figura 15. QR del formulario del técnico

Como elemento integrador del sistema, se desarrolló un módulo denominado Home que centraliza el acceso a todos los componentes del sistema desde una única interfaz visual. Su función no es operativa en términos de procesamiento de datos, sino de navegación y experiencia de usuario: en lugar de gestionar enlaces dispersos hacia cada formulario o módulo de manera independiente, el

Home consolida en una sola pantalla los accesos al Formulario del Operador, al Formulario del Técnico, al panel de indicadores técnicos y al layout de disponibilidad de planta.

Esta decisión de diseño responde a una necesidad práctica identificada durante la implementación: garantizar que cualquier usuario del sistema, independientemente de su rol o nivel de familiaridad con la plataforma, pueda navegar hacia el módulo que necesita de forma inmediata y sin intermediarios. La interfaz del Home, visible en la **Figura 16**, representa por tanto el punto de entrada unificado al ecosistema digital desarrollado, contribuyendo a la adopción del sistema por parte de los usuarios y reduciendo la curva de aprendizaje asociada a su uso cotidiano.



**Figura 16.** Interfaz del sistema de reporte de mantenimiento correctivo.

## 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió evidenciar la importancia de estructurar correctamente la gestión de datos dentro de los procesos de mantenimiento correctivo en entornos industriales. A partir del diagnóstico inicial realizado en la empresa objeto de estudio, se identificó que el proceso tradicional de reporte de fallas presentaba múltiples limitaciones asociadas al uso de registros manuales, entre ellas la duplicidad de información, la falta de trazabilidad de los eventos de mantenimiento y la ausencia de una base de datos estructurada que permitiera realizar análisis técnicos confiables.

Como respuesta a esta problemática, se diseñó un sistema digital de reporte de mantenimiento que integra formularios electrónicos, una base de datos centralizada y la generación automática de indicadores de desempeño. La implementación del sistema permitió estandarizar la captura de información mediante campos normalizados y listas desplegables, eliminando la digitación libre en variables críticas y reduciendo significativamente el margen de error humano en el registro de datos. Uno de los principales aportes del proyecto fue la consolidación de la información proveniente de los departamentos de Producción y Mantenimiento en una única base de datos. Esta centralización permitió mejorar la trazabilidad de los eventos de falla mediante la generación automática de identificadores únicos, facilitando el seguimiento completo del proceso desde el reporte inicial del operador hasta el cierre técnico de la intervención.

Adicionalmente, la digitalización del flujo de información permitió reducir las etapas intermedias del proceso de reporte de fallas. Mediante la utilización de códigos QR ubicados en cada máquina, los operadores pueden registrar incidencias de forma inmediata, lo cual reduce los tiempos de notificación y mejora la comunicación entre las áreas involucradas en el proceso de mantenimiento. La disponibilidad de datos estructurados permitió implementar indicadores técnicos como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), los cuales se calculan automáticamente a partir de la base de datos generada por el sistema. Estos indicadores constituyen herramientas clave para evaluar el desempeño del área de mantenimiento, identificar equipos críticos y apoyar la toma de decisiones orientadas a la mejora continua del sistema productivo.

En términos generales, el sistema desarrollado demuestra que la digitalización de los procesos de reporte de mantenimiento representa una alternativa viable y de bajo costo para pequeñas y medianas empresas que buscan mejorar la gestión de sus activos industriales.

La estructura propuesta no solo mejora la calidad y disponibilidad de la información, sino que también establece una base sólida para futuras estrategias de gestión del mantenimiento basadas en datos, contribuyendo al fortalecimiento de la eficiencia operativa y competitividad organizacional.

## 6. LIMITACIONES

A pesar de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, es importante reconocer ciertas limitaciones asociadas al alcance y contexto de la investigación. En primer lugar, el sistema fue implementado y evaluado únicamente en una empresa específica del sector industrial dedicada a la maquila de tanques de gas, por lo que los resultados obtenidos responden a las condiciones operativas particulares de dicha organización. Si bien la estructura del sistema es replicable, su adaptación a otras empresas podría requerir ajustes en la configuración de variables, formularios o indicadores.

Otra limitación está relacionada con el período de observación utilizado para analizar el comportamiento de los indicadores técnicos. El sistema fue implementado en una etapa reciente dentro de la empresa, por lo que la base de datos disponible aún no contiene un historial suficientemente amplio para realizar análisis de largo plazo o estudios de confiabilidad más complejos.

Asimismo, el sistema desarrollado se enfoca principalmente en la gestión de datos asociados al mantenimiento correctivo. No se contempló dentro del alcance del proyecto la integración de estrategias de mantenimiento preventivo o predictivo basadas en monitoreo de condición, lo cual podría representar una etapa futura de evolución del sistema.

Finalmente, la implementación del sistema depende de la disponibilidad de herramientas tecnológicas básicas, como dispositivos móviles para el escaneo de códigos QR y acceso a conexión a internet para la sincronización de datos. En entornos donde estas condiciones no se encuentren garantizadas, la adopción del sistema podría presentar ciertas dificultades operativas.

A pesar de estas limitaciones, el sistema propuesto establece una base funcional para la digitalización del proceso de reporte de mantenimiento correctivo y abre la posibilidad de desarrollar futuras mejoras orientadas a la automatización, análisis predictivo y optimización integral de la gestión del mantenimiento en entornos industriales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Blanchard, B. S. (1995). *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management*. Wiley.
- Campbell, J. D., & Reyes-Picknell, J. V. (2015). *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management* (3.<sup>a</sup> ed.). CRC Press.
- Coetzee, J. L. (1998). *Maintenance*. Trafford Publishing.
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press.
- Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2006). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. *Applied Energy*, 83(11), 1235–1248. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.01.002>
- Fernández Iglesias, M. J. (2023). Pequeña introducción a las bases de datos. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13924.65925>
- García Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Díaz de Santos.
- International Electrotechnical Commission. (2004). IEC 60300-3-11: Dependability management – Application guide – Reliability centred maintenance. IEC.
- ISO 14224:2016. (2016). ISO. <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- Jardine, A., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20, 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
- Kothamasu, R., Huang, S. H., & VerDuin, W. H. (2006). System health monitoring and prognostics – A review of current paradigms and practices. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 1012–1024. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2131-6>
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2004). *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*. Pearson Educación.
- Lazim, H. M., & Ramayah, T. (2010). Maintenance strategy in Malaysian manufacturing companies: A total productive maintenance (TPM) approach. *Journal of Statistics and Management Systems*, 13(5), 1013–1030.
- Levitt, J. (2009). *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance* (2.<sup>a</sup> ed.). Industrial Press.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier.
- Moubray, J. (2001). *Reliability-centered Maintenance*. Industrial Press Inc.
- Muñoz Abella, M. B. (2003). *Mantenimiento industrial*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.

- Peng, Y., Dong, M., & Zuo, M. J. (2010). Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: A review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50, 297–313. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0>
- Pérez Jaramillo, C. M. (2007). *Gestión del mantenimiento para equipos y maquinaria*. Universidad EAFIT.
- Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). Maintenance: An evolutionary perspective. En K. A. H. Kobbacy & D. N. P. Murthy (Eds.), *Complex System Maintenance Handbook* (pp. 21–48). Springer.
- Redman, T. C. (2008). *Data Driven: Profiting from Your Most Important Business Asset*. Harvard Business Press.
- Salonen, A., & Bengtsson, M. (2011). The potential in strategic maintenance development. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(4), 337–350. <https://doi.org/10.1108/13552511111180840>
- Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R. (2004). *RCM-Gateway to World Class Maintenance*. Elsevier.
- Wireman, T. (2004). *Benchmarking Best Practices in Maintenance Management*. Industrial Press Inc.