

2020-05

# MANUAL DE CONFIABILIDAD HUMANA PARA LA INTERPRETACIÓN DE DATOS DEL MANTENIMIENTO

TORRES OSORIO, PAULO CÉSAR

---

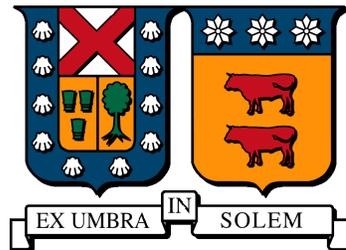
<https://hdl.handle.net/11673/55577>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SANTIAGO-CHILE**



**Manual de Confiabilidad Humana para la  
Interpretación de datos del Mantenimiento**

**Paulo César Torres Osorio**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA:**

**Ing. Luis Guzmán Bonet**

**PROFESOR CORREFERENTE:**

**Ing. Fabiola Pimentel Bustamante**

**Mayo 2020**

# **Dedicatoria**

A mis padres, Paulina Osorio Toro y Luis Torres Molina.

# Resumen

Actualmente, las organizaciones y empresas a nivel mundial se esfuerzan por mejorar sus procesos, cumplir con estándares internacionales y demostrar su compromiso con las necesidades de los distintos actores interesados en su gestión. Particularmente en el área de Mantenimiento, se adquieren equipos cada vez más autónomos o confiables y se busca maximizar la eficacia global de los equipos y sistemas, sin embargo, las máquinas son solo una parte de las empresas y si bien alcanzan límites cada vez más cercanos al ideal en mantenibilidad y confiabilidad, no se toma en cuenta el gran efecto que tiene el elemento humano sobre los procesos de las organizaciones, el cual puede ser tan grande como crítico. Incluso cuando una tarea se optimiza, no deja de depender de los trabajadores, sino que ahora en vez de una persona operando, se necesita a alguien supervisando la labor del equipo o sistema, lo cual requiere una preparación humana mayor.

Este documento busca unir la gestión común del mantenimiento con la confiabilidad humana, mediante dos caminos. El primero modela la conducta y rendimiento de técnicos mantenedores, utilizando simulación numérica para generar comportamientos y analizarlos, utilizándolos como ejemplo y guía para recomendar medidas de confiabilidad humana que permitan controlar y reducir el error humano. La segunda establece un procedimiento estándar y general para registrar distintas causas de error y su solución, con tal de generar diagramas de solución de problemas robustos y completos, que documenten y complementen el control del error humano.

# Abstract

At present, organizations and enterprises worldwide strive to improve their processes, comply with international standards, and prove their commitment to the needs of stakeholders. Particularly in Maintenance, increasingly autonomous and reliable equipment is acquired, and there's a pursuit to maximize the overall effectiveness of equipment and systems, however, machines are only one part of an enterprise and although they now reach limits increasingly close to the ideal in maintainability and reliability, it's not taken into account the great effect that the human element has over the processes of organizations, which can be as great as it can be critical. Even when a task is optimized, it is still dependent on workers, now instead of a person operating it someone is needed to supervise the work of the equipment or system, which requires more human preparation.

This document seeks to unite through two ways the common maintenance management and human reliability. The first one models conduct and performance of maintenance technicians, using numeric simulation to generate behaviours and analyse them, using them as guide and example to recommend human reliability measures that allow to control and reduce human error. The second one establishes a general standard procedure to record different causes of error and their solution, in order to generate robust and complete troubleshooting diagrams, that document and complement the control of human error.

# Glosario

- AC – Análisis de Criticidad
- ATP – Indicador Porcentual de Avance de Tareas Programadas
- C % – Confiabilidad
- CBM – Mantenimiento Basado en Condiciones (Condition-Based Maintenance)
- CH – Confiabilidad Humana
- CRT – Árbol de Realidad Actual (Current Reality Tree).
- D % – Disponibilidad
- EPP – Elementos de Protección Personal
- FMEA – Modo de Fallas y Análisis de Efectos (Failure Mode and Effects Analysis)
- FTA – Análisis del Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis)
- GCM – Gestión de la Calidad del Mantenimiento
- HRA – Análisis de Confiabilidad Humana (Human Reliability Analysis)
- INC – Indicador de Incidentes
- KPI – Indicador(es) Clave de Desempeño (Key Performance Indicator)
- M % – Mantenibilidad
- MC – Mantenimiento Correctivo

- MEP – Indicador de Mantenimientos Exitosos a la Primera
- MF – Indicador de Mantenimientos Fallidos
- MJ – Mantenimiento Mejorativo
- MO – Mantenimiento de Oportunidad
- MP – Mantenimiento Planificado
- MPd – Mantenimiento Predictivo
- MPg – Mantenimiento Programado
- MPv – Mantenimiento Preventivo
- Mto – Mantenimiento Industrial
- P(HE) – Probabilidad del Error Humano
- PSFs – Factores Modeladores de Rendimiento (Performance-Shaping Factors)
- RCA – Análisis de Causa Raíz (Root Cause Analysis)
- TBM – Mantenimiento Basado en el Tiempo (Time-Based Maintenance)

# Índice general

1. Marco Teórico	3
1.1. Conceptos de Mantenición	3
1.1.1. Indicadores Clave en Mantenición	4
1.1.2. CH en Mantenición	4
1.2. Mantenimiento Planificado (MP)	6
1.2.1. Mantenimiento Preventivo (MPv)	6
1.2.2. Mantenimiento de Oportunidad (MO)	7
1.2.3. Mantenimiento Mejorativo (MJ)	8
1.3. Estado del Arte	8
1.3.1. Un poco de historia	8
1.3.2. Actualidad	9
1.4. HRA y CH	10
1.4.1. Clasificación del Error Humano	11
1.4.2. Comportamiento Humano	14
1.4.3. Gestión de la Calidad del Mantenimiento (GCM)	15
1.4.4. Herramientas de la GCM	16
1.4.5. Estrategias de CH	17
1.4.6. Medidas de CH e indicadores de Mantenición	19
1.5. El Error y sus Causas	20
1.5.1. Metodología del RCA	21
1.5.2. Criticidad del Error	23
1.6. Competencia: Saber, Poder, Querer, Hacer	23
1.7. Estándares Internacionales	24
1.8. Alcance de la Memoria	25

2.	Explicación del Modelo	28
2.1.	Entradas del Modelo	28
2.1.1.	Contexto Actual	29
2.1.2.	Mediciones	29
2.1.3.	Objetivos y KPI	30
2.1.4.	Sección Piloto	31
2.2.	Modelo Propuesto	31
2.3.	Salidas del Modelo	32
2.3.1.	Estadísticas del Comportamiento Humano	32
2.3.2.	Aportar a la Toma de Decisiones	33
2.3.3.	Mejoras de KPI	33
2.4.	Modelo y Manual	33
3.	Simulaciones	35
3.1.	Criticidad y Selección	35
3.2.	Caso Principal	36
3.2.1.	VARIABLES RELEVANTES	36
3.2.2.	Categorización	38
3.2.3.	Resultados	39
3.2.4.	Descripción de los Datos Simulados	43
3.3.	Caso Secundario: Meses Críticos	49
3.3.1.	Descripción de los Datos Simulados	49
3.4.	Caso Secundario: Pendiente Negativa	50
3.4.1.	Descripción de los Datos Simulados	50
3.5.	Caso Secundario: Tendencia Preocupante	51
3.5.1.	Descripción de los Datos Simulados	51
4.	Análisis de Simulaciones	53
4.1.	Seguimiento de KPI de Mantenedores del Caso Principal	53
4.2.	Caso Secundario: Meses Críticos	57
4.2.1.	Revisión y Recomendaciones	57
4.3.	Caso Secundario: Pendiente Negativa	58
4.3.1.	Revisión y Recomendaciones	58
4.4.	Caso Secundario: Tendencia Preocupante	59
4.4.1.	Revisión y Recomendaciones	59

5. Conclusiones	61
A. Manual de Confiabilidad Humana	66
A.1. Contexto Organizacional	66
A.2. Resultados y Análisis	68
A.2.1. Resultados	68
A.2.2. Análisis	72
A.3. Solución de Errores y Medidas de Confiabilidad Humana	74
A.3.1. Errores y Causas	75
A.3.2. Violaciones	78
A.3.3. Problemas de Seguridad	79
A.3.4. Condicionar el Lugar de Trabajo	79
A.3.5. Perfil y Reclutamiento	81
A.3.6. Líder y Equipo de Mantenimiento	83
A.3.7. Incentivos	84
A.3.8. Diferencias entre Turnos	85
A.3.9. Árboles de Solución de Problemas	86
A.4. Estadística del Comportamiento	89
A.5. Paralelos con la familia de normas ISO 55000	94
A.6. Exposición de Resultados	95
A.7. Partir de Cero	95
B. Tablas de Resultados	97

# Índice de figuras

1.1. Sistema de tres elementos en serie. . . . .	9
1.2. Patrones de falla de componentes de aeronaves [29]. . . . .	11
1.3. Estrategias de la Confiabilidad Humana [15]. . . . .	18
1.4. Ejemplo de un gráfico causal, resultado de un análisis de causa raíz [30]. 22	
3.1. Primera tabla de resultados de la simulación del caso principal. . . . .	40
3.2. Segunda tabla de resultados de la simulación del caso principal. . . . .	41
3.3. Relación entre mantenimientos fallidos en distintas máquinas (M1, M2, M3, M4) según la tarea de mantención (T1, T2, T3) correspondiente, de la simulación del caso principal. . . . .	42
3.4. N°1 Laura – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	43
3.5. N°2 Lucas – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	43
3.6. N°3 Nancy – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	44
3.7. N°4 Juan – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	45
3.8. N°5 Karen – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	45
3.9. N°6 Carlos – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	45
3.10. N°7 Susana – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	46
3.11. N°8 Pedro – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	46
3.12. N°9 Mateo – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	47
3.13. N°10 Lisa – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	47
3.14. Primer caso secundario. . . . .	49
3.15. N°1 Marta – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	50
3.16. Segundo caso secundario. . . . .	50
3.17. N°2 Boris – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	51
3.18. Tercer caso secundario. . . . .	51
3.19. N°3 Paz – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	52

A.1. N°4 Juan – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	69
A.2. N°6 Carlos – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	69
A.3. N°7 Susana – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	70
A.4. N°9 Mateo – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	70
A.5. N°2 Boris – Gráfico de rendimiento personal. . . . .	72
A.6. Comparación del histograma del sexto periodo de la figura B.3, antes y después de resolver el error principal de la máquina M4. . . . .	73
A.7. Árbol de solución de problemas de errores técnicos e inadvertidos. . . .	86
A.8. Árbol de solución de problemas generalizado. . . . .	88
A.9. Gráficos de rendimiento personal de Laura, Lucas, Nancy, Juan y Karen. . .	90
A.10. Gráficos de rendimiento personal de Carlos, Susana, Pedro, Mateo y Lisa. .	91
A.11. Gráficos de rendimiento personal de Marta, Boris y Paz. . . . .	92
A.12. Cronograma de actividades. . . . .	93
B.1. Primera tabla de resultados de la simulación del Caso Principal. . . . .	98
B.2. Segunda tabla de resultados de la simulación del Caso Principal. . . . .	99
B.3. Relación entre mantenimientos fallidos en distintas máquinas (M1, M2, M3, M4) según la tarea de mantención (T1, T2, T3) correspondiente, de la simulación del Caso Principal. . . . .	100
B.4. Segundo caso secundario. . . . .	101

# Índice de tablas

1.1. Elementos y sub-elementos de la norma ISO 55000. . . . .	24
3.1. Categorización de rendimiento de un trabajador, mínimo y máximo de tareas preventivas que puede realizar, promedio de tareas realizadas y cantidad de trabajadores por categoría. . . . .	38
A.1. Detalle de las actividades del cronograma. . . . .	94

# Introducción

## Contexto

El error humano es omnipresente. Un análisis de 2014 del Departamento de Defensa de EE.UU [27], identifica el error humano como un factor causal en 80 – 90 % de los incidentes en los sectores militar y civil, y está presente pero no es causa en otro 50 – 60 % de todos los contratiempos; el Comando Aéreo Estratégico (SAC) de EE.UU afirma que una porción de todos los eventos críticos empeora con la intervención humana. Incluso, un porcentaje de defectos son ignorados por inspectores cuyo trabajo es encontrarlos [17].

El estudio de la confiabilidad humana es un tema que está en constante investigación por lo que no se tienen las respuestas a todas las preguntas. Existen muchos modelos y herramientas [2] [4] [5] [9] [10] [18] [22] [23] [28], para distintos sectores industriales, cuya implementación varía para cada organización.

En nuestro país, la investigación de la confiabilidad humana y el control del error es mínima, basándose en la casi nula cantidad de tesis y memorias de las universidades nacionales sobre el tema. Sin investigación no se puede explorar y profundizar en el tema, mucho menos aportar a la industria nacional con soluciones. Debido a esto, se busca dar una herramienta sencilla para adentrarse en el mundo de la confiabilidad humana, con tal de que pueda ser incorporada en distintos rubros nacionales.

## Objetivos

El objetivo general de esta memoria de título es desarrollar un manual que facilite la interpretación de datos de mantención y los traduzca en medidas de Confiabilidad Humana. Para lograr esto, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Seleccionar de los datos de mantenimiento, los índices de desempeño relevantes.

- Relacionar los factores de la Confiabilidad Humana con los índices de mantenimiento, para determinar posibles correlaciones.
- Simular datos de mantenimiento, para distintos comportamientos comunes de errores humanos en el área.
- Analizar y clasificar los datos simulados, comparándolos con distribuciones estadísticas típicas.
- Elaborar un sistema detallado de cómo proceder, para lograr un plan de mejora de la Confiabilidad Humana, explicando gráficamente los comportamientos esperados; incorporando elementos de la norma ISO 55000.
- Proponer un plan de implementación de las medidas sugeridas por el manual.

## **Estructura**

Se comienza este documento, en el marco teórico, con la introducción de varios temas relevantes para el entendimiento de esta memoria, formando la base conceptual en la que se basan las simulaciones y el análisis posterior. Se incluye, en breve, el estado del arte de la confiabilidad humana y del análisis de confiabilidad humana.

Luego se explica el modelo a implementar, el cual lista y ordena los pasos que se deben seguir para la redacción del manual de confiabilidad humana. Se describen las entradas del modelo y las salidas esperadas.

En seguida, se presentan y detallan los resultados obtenidos de las simulaciones principal y secundarias.

Después se realiza un análisis de los resultados obtenidos, para su uso posterior en el cuerpo del manual.

Por último, se redacta el manual de confiabilidad, en base a los resultados obtenidos y el análisis realizado.

# Capítulo 1

## Marco Teórico

La meta de esta memoria es redactar un manual que sirva de puente entre el Mantenimiento Industrial (Mtto) y la Confiabilidad Humana (CH), donde se explique por qué se recomienda implementar la CH en las prácticas del Mtto, y que su entendimiento y aplicación sean sencillos. En otras palabras, se busca recomendar medidas de confiabilidad humana a partir de mediciones y datos de mantención, a partir de distintos casos comunes que se dan en tareas de mantenimiento, y se sugieren pasos adecuados que permitan mejorar los indicadores clave de mantención.

Se introducirán a continuación algunos conceptos de Mtto y su relación con la CH.

### 1.1. Conceptos de Mantención

”Lo que no se mide, no se puede mejorar” es una frase comúnmente atribuida a Lord Kelvin (1824-1907), físico y matemático británico, y es de particular importancia en el área de Mantención, donde se deben cumplir múltiples objetivos y tareas con tal de garantizar que un sistema, línea de producción o una planta productiva funcionen de forma confiable; generalmente, con tiempos y presupuestos ajustados.

Para lograr estos objetivos, en el marco de distintas políticas de mantención o sistemas de gestión del mantenimiento, se plantea medir ciertos indicadores de desempeño, que permitan tener una visión actualizada y global del rendimiento del personal, y del avance en las tareas estipuladas para el cumplimiento de dichos objetivos. Estos indicadores pueden ser personales, pertenecientes a un área o a toda una organización, y pueden ser propuestos o definidos por operarios, técnicos, jefes de sección o gerentes.

La definición y selección de estos indicadores es un proceso en sí mismo, pero una vez elegidos los indicadores clave de desempeño (KPI) adecuados, se puede empezar a medir el cumplimiento de los objetivos de una organización y, luego, mejorar estos resultados. En el área de Mantenimiento, los principales factores a medir y mejorar son la Disponibilidad (D %), la Mantenibilidad (M %) y la Confiabilidad (C %).

### **1.1.1. Indicadores Clave en Mantenimiento**

La D % es el objetivo principal del mantenimiento. Puede definirse como la probabilidad de que un activo o sistema pueda ser utilizado cuando se requiera [11]. De forma sencilla, es el porcentaje de tiempo, sobre el tiempo disponible total, en que un activo o sistema está disponible para funcionar.

La M % es la probabilidad de restaurar las condiciones de funcionamiento normal de un activo, en un periodo de tiempo determinado, cuando el mantenimiento es realizado según procedimientos establecidos [21]. En otras palabras, tiene que ver con la certeza de que se repare o restaure un activo a su funcionamiento normal, al primer intento de mantención.

La C % se puede definir como la probabilidad o duración del desempeño de un activo, sin fallas y bajo condiciones establecidas [25]. Es una medida de la seguridad y del riesgo [24]. Es decir, es el porcentaje de tiempo, sobre el tiempo disponible total, en que un equipo funciona de buena forma, sin presentar averías ni fallos de ningún tipo. Generalmente, estos tres conceptos se establecen como KPI globales, ya que representan valores medibles que denotan la efectividad con la que se está logrando el objetivo del Mto.

### **1.1.2. CH en Mantenimiento**

Profundizando sobre el último indicador presentado anteriormente, ya que tiene mayor relación con el tópico principal de este documento, se tiene que la confiabilidad de un sistema, de un grupo de máquinas, de una línea de producción o de una planta, se suele obtener mediante la productoria<sup>1</sup> (II) de las confiabilidades de los subsistemas ( $C_i$ ), tomando en cuenta la configuración de los activos en cada subsistema (serie, paralelo, etc.). Por otro lado, la CH se puede definir como la probabilidad de

que las personas realicen tareas específicas con un desempeño satisfactorio [8]. De esta definición, se establece que el error humano es el contrario a la CH y se define [4] la probabilidad del error humano ( $P(HE)$ ) como sigue:

$$P(HE) = \frac{\text{Número de errores}}{\text{Número de oportunidades de error}} \quad (1.1)$$

En base a la forma en cómo se calcula la C % de un sistema, para una configuración en serie, como el producto de las confiabilidades de cada subsistema, y considerando al operador de una máquina o al técnico que la repara como una parte importante del proceso (incluso en sistemas altamente automatizados, la presencia, habilidad y supervisión de personas es fundamental), entonces la C % de dicha persona, como su  $P(HE)$  correspondiente, también afecta a la confiabilidad global del sistema en cuestión.

En otras configuraciones de activos, el aporte de cada elemento no se multiplica directamente con los demás, pero de todas formas la confiabilidad de cada activo afecta a la global, tal que si una confiabilidad individual baja, también lo hace la del sistema. Si las fiabilidades individuales suben, también lo hace la global, por lo que aumentar la C % humana, mediante la reducción del error humano, debería incrementar la confiabilidad total del sistema.

Tal como con los demás errores, fallas y accidentes en Mantenimiento, se puede llegar al origen de estos eventos con múltiples herramientas, como el Análisis de Causa Raíz (RCA), si se consideran causas fuera de las tradicionales en el mantenimiento, como los errores humanos, que serán discutidas más adelante.

Por otro lado, el Análisis de Confiabilidad Humana (HRA) se enfoca en estimar el valor de  $P(HE)$ , para lo cual existen múltiples métodos, como HEART, SPAR-H y redes bayesianas; un caso de estudio donde se aplican y comparan estos tres métodos se puede encontrar en [1]. La mayoría de estas metodologías fueron desarrolladas para la industria nuclear y su aplicación no es inmediata para cualquier otro rubro, sino que la organización que desea implementar el HRA debe elegir algunos métodos a implementar, énfasis en el plural, ya que las probabilidades encontradas por cada método deben ser comparadas por las obtenidas en los demás, para su validación [1].

El error humano es una realidad en cualquier proceso que involucre personas, es un factor que no puede ser eliminado [12], pero que puede ser controlado y reducido, con las medidas adecuadas.

Existen documentos publicados que avalan que los métodos del HRA y las medidas de la CH logran disminuir la ocurrencia del error humano y disminuir su probabilidad, por ejemplo, un reporte (año 2003) establece que de 247 accidentes en refinerías brasileñas, 21, 86 % fueron causadas por errores humanos; y en la industria de tuberías (año 2005), el 41 % de las fallas de sistemas tienen un error humano como su causa raíz, de las cuales los mayores responsables son Mantenimiento y Operación [8].

## **1.2. Mantenimiento Planificado (MP)**

El MP busca las causas subyacentes de los problemas de activos, identificando e implementando soluciones para la causa raíz. Su objetivo es prevenir las averías. Para esto, elimina problemas recurrentes, aumenta la efectividad del mantenimiento y la eficiencia de los equipos [7].

Generalmente, la implementación del MP va acompañada de un software de gestión del mantenimiento, para el registro de datos de mantenciones y su posterior análisis. Este programa puede ser comprado o desarrollado internamente, mientras cumpla con los requisitos particulares de la organización para la implementación del MP.

A diferencia del mantenimiento correctivo (MC), el cual se encarga de averías y fallas cotidianas, ya sea de forma inmediata o diferida, el MP toma una postura proactiva, prediciendo y previniendo averías antes de que ocurran.

El MP integra múltiples políticas de mantención, detalladas a continuación.

### **1.2.1. Mantenimiento Preventivo (MPv)**

Es la parte central del MP. Se encarga de realizar mantenciones en momentos específicos, de acuerdo con dos criterios principales (plazos temporales o medidas de condiciones), para eliminar la sobre mantención de activos y reducir los costos del mantenimiento. En ambos casos, se realiza una selección de equipos que califican para esta política, de acuerdo con un estudio y clasificación de criticidad.

Es parte del mantenimiento proactivo, el cual busca predecir y prevenir los errores antes de que ocurran.

### **Mantenimiento Programado (MPg)**

Se enfoca en planificar mantenciones en base a periodos de tiempo o ciclos de trabajo, considerando recomendaciones de proveedores, fabricantes, opinión de expertos, experiencia técnica o mediciones previas propias. Por este motivo, se relaciona con la metodología del mantenimiento basado en el tiempo (TBM), el cual determina periodos ajustables de intervención de activos críticos, por ejemplo, la revisión técnica de un vehículo, que debe realizarse en intervalos establecidos según la ley.

Generalmente, se comienza a implementar con recomendaciones de fabricantes, manuales, proveedores, entre otros; y luego de que se cuenta con suficientes registros propios, se utilizan estos para establecer los plazos de intervención, ya que representan de forma real la operación particular de la organización [7].

### **Mantenimiento Predictivo (MPd)**

Se enfoca en planificar mantenciones en base a mediciones de condiciones clave de activos, comparando con valores base recomendados por proveedores, fabricantes, fuentes externas, experiencia técnica o mediciones previas propias. Por este motivo, se relaciona con la metodología del mantenimiento basado en condiciones (CBM), el cual determina variables de operación para medir y controlar el estado de componentes de equipos críticos, por ejemplo, el cambio de aceite del motor de un vehículo, que debe realizarse al alcanzar un kilometraje establecido, según la naturaleza del aceite.

Generalmente, se comienza con la selección de variables clave y de los instrumentos que se usarán para medirlas, considerando valores referenciales para estas variables de fabricantes, manuales, proveedores, entre otros; y luego de que se cuenta con suficientes registros propios, se utilizan estos para establecer los rangos de control para cada variable, ya que representan de forma real la operación particular de la organización [7].

### **1.2.2. Mantenimiento de Oportunidad (MO)**

Engloba a los mantenimientos que se realizan durante el tiempo de paradas de equipos, ya sean programadas o repentinas.

### **1.2.3. Mantenimiento Mejorativo (MJ)**

También llamado mantenimiento de actualización, se encarga de realizar mejoras a equipos. Estas mejoras se producen por obsolescencia tecnológica, características de la operación o el entorno de la máquina que no fueron consideradas en el diseño o compra de la misma, consideraciones de seguridad, ergonomía para la operación o mantención, entre otros.

\* \* \*

Se recomienda para la aplicación de este manual, cierto grado de implementación del MP en su organización, contando con, al menos, tareas programadas, registro de averías, seguimiento de KPI y mantenimiento proactivo; como también la aplicación de métodos de eliminación de averías y fallas comunes, como el RCA. Lo anterior es necesario para poder garantizar cierta estabilidad en los procesos de la organización, sin mayores variaciones del rendimiento normal y cotidiano. Además, esto permite contar con registros y mediciones de la situación actual de la organización, con cierto grado de precisión, para poder así mejorarla.

## **1.3. Estado del Arte**

La CH es un tópico en constante investigación y su aplicación, sobre todo en nuestro país, está lejos de ser la norma, aunque existen múltiples estudios que confirman su efectividad en la reducción del error humano [8] [19] y, por lo tanto, en la confiabilidad de los sistemas de las organizaciones que la han implementado.

### **1.3.1. Un poco de historia**

La CH, junto con el HRA, empieza a aparecer en la década de 1950 y toma fuerza con la industria nuclear en la década de 1970, con el desarrollo y aplicación de varias metodologías [26]. Luego, desde la década de 1990, se enfoca en el concepto de factores modeladores de rendimiento (PSFs), los cuales pueden ser externos o internos a las personas, e incluyen todo lo que pueda afectar el desempeño de estas. Finalmente, desde el 2000, se expande sobre el concepto de PSFs y se consideran las relaciones e

interdependencias entre personas.

### 1.3.2. Actualidad

Actualmente, los métodos del HRA se utilizan en distintas industrias para reducir accidentes y el costo de los errores humanos en las actividades de Operación y Mantenimiento. Para aplicar estas metodologías, se recolectan datos históricos de errores humanos y opiniones de especialistas.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de los métodos de HRA y sus resultados pueden variar mucho para distintas organizaciones, sin embargo, las medidas de CH recomendadas son fundamentalmente las mismas: una combinación de capacitaciones de habilidades y seguridad, revisión y supervisión de procedimientos estandarizados, entre otros.

La CH toma elementos de la psicología, sociología e ingeniería [13] [14], entre otros, para dar soluciones integrales a problemas pocas veces considerados en las áreas de Producción y Mantenimiento [11] [12]. El ser humano es parte central en el mantenimiento y en el proceso productivo, repercutiendo de forma directa en la mantenibilidad y confiabilidad de activos, y en la confiabilidad del proceso; es más, se supone que es el elemento con mayor influencia en la confiabilidad total.

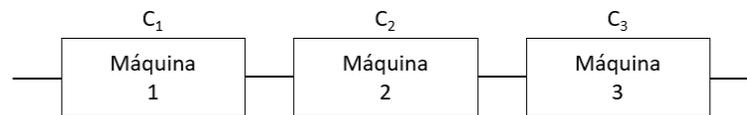


Figura 1.1: Sistema de tres elementos en serie.

En la figura 1.3, se presenta un sistema sencillo de tres elementos que conforman una parte de un sistema productivo. La confiabilidad de este sistema se calcula como:

$$C\%_{sist} = \prod_{i=1}^{n=3} C_i = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \quad (1.2)$$

Como se comentó anteriormente, si se considera el factor humano dentro del proceso, asignándole una confiabilidad  $C_h$ , una forma de calcular la confiabilidad real del sistema es:

$$C\%_{real} = C\%_{sist} \cdot C_h \quad (1.3)$$

De un tiempo a esta parte, la confiabilidad de máquinas y sistemas ha ido en incremento, con la propagación de conocimientos sobre mantenimiento planificado y sistemas de gestión del mantenimiento. Las empresas tienden a favorecer máquinas de proveedores certificados y con  $C\%$  altas, por lo que la confiabilidad de activos y sistemas, en la forma convencional, tiende a ser alta. Por otro lado, la confiabilidad de las personas que operan o mantienen las máquinas, si no se mide, no se puede asegurar su valor ni que este sea estable. Por ejemplo, si la confiabilidad del sistema es de un  $95\%$  y la humana de  $60\%$ , se tendría que  $C\%_{real} = 57\%$ . Aunque la confiabilidad humana mejore, se debe medir para poder controlar y asegurar la confiabilidad del sistema, si no en un nivel aceptable según requerimientos, al menos que éste sea estable.

Con el avance tecnológico y la automatización de procesos, la tecnología ha ido sustituyendo al humano en muchísimas actividades, trasformando a operadores en supervisores de procesos automáticos [20]. La reducción de errores de ejecución en muchos sitios ha sido sustituida inevitablemente por un aumento de los errores de evaluación, previsión y mantenimiento de los sistemas automáticos, con el resultado de que el factor humano sigue siendo señalado como el responsable del  $70\%$  de los accidentes. Este alto porcentaje puede ser explicado [6] por:

- La  $C\%$  de los sistemas técnicos ha aumentado, aumentando así el peso relativo de cada error humano.
- La complejidad de los sistemas técnicos ha aumentado.
- Homeostasis<sup>2</sup> del riesgo: los seres humanos tienden a permitir un mayor nivel de riesgo personal cuando el sistema está clasificado como seguro, equilibrando así el riesgo total entre ellos y la máquina en un mismo nivel.
- El nivel creciente de automatización hace que los operadores pierdan la capacidad de controlar el sistema manualmente y dificulta (o incluso, no permite) la capacitación adecuada de dichas habilidades.

## 1.4. HRA y CH

El HRA busca encontrar todas las fuentes posibles de error humano, estimar su valor y analizar su efecto en la confiabilidad global, mediante la combinación de algunas metodologías, como el Árbol de Fallas (FTA) y el RCA; para desarrollar un plan de

acción que permita minimizar la P(HE). Para esto [13], se comienza con la medición y jerarquización de los errores, el diagnóstico de la actitud y aptitud del elemento humano, luego se relacionan los indicadores de conducta, se diseña un plan de soluciones, se elabora e implementa un programa y, por último, se supervisa, mide y valida el éxito de dicho programa.

Las personas poseen un rol fundamental al interior del ciclo de vida de un activo, ya que están presentes en cada una de sus etapas: diseño, producción, operación y mantenimiento [3]. Hablar de CH o de errores humanos, ya definidos anteriormente, no es un tópico de importancia únicamente para el área ingenieril, sino que también es ampliamente explorado por psicólogos y psicoanalistas.

Todos los seres humanos cometemos errores, es algo inherente a nuestra naturaleza. Sin embargo, estos errores no ocurren de forma aleatoria, como un activo con buen mantenimiento en la etapa de operación de su ciclo de vida<sup>3</sup>, sino que la mayoría de las veces tienen una causa raíz identificable y corregible.

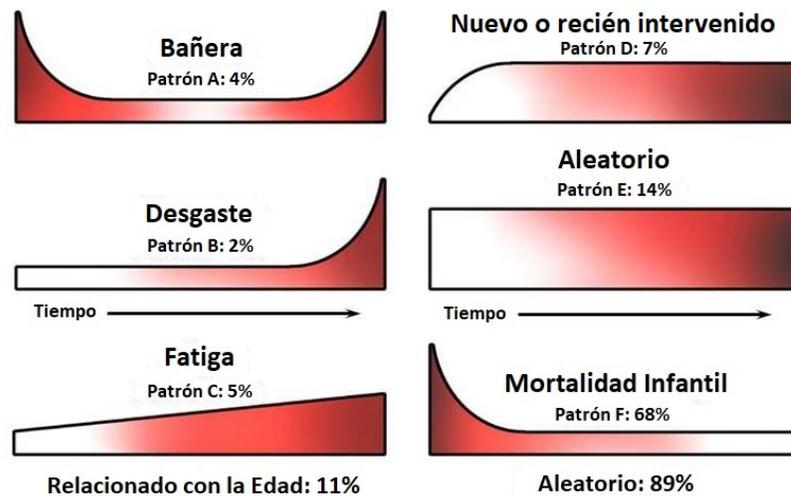


Figura 1.2: Patrones de falla de componentes de aeronaves [29].

### 1.4.1. Clasificación del Error Humano

Los errores son una medida de infidelidad humana. Normalmente [24], suelen aceptarse tres categorías de errores humanos:

1. Errores técnicos: Se relacionan con la falta de formación, escasa capacidad o habilidad para realizar un trabajo determinado.
2. Errores inadvertidos: Se caracterizan por ser inconscientes en el momento que se cometen. Es decir, los implicados no tienen la voluntad ni el deseo de equivocarse. Se relaciona con los vacíos mentales, la falta de atención y el exceso de confianza.
3. Errores conscientes: Existe intencionalidad al cometer el error y con frecuencia es un reflejo que responde a decisiones desacertadas del personal de dirección. También pueden deber su aparición a actitudes relacionadas con el ocultamiento de resultados pobres o fraude para recibir favores derivados, desviaciones éticas para culpar a otros, sabotajes, etc.

La mayor parte de los errores humanos son técnicos, seguido de los inconscientes y, por último, los conscientes [24].

Desde el punto de vista psicológico [14], los errores no son tantos ni tan distintos y, por tanto, es posible su sistematización y generalización y, en consecuencia, su predicción y prevención, aunque no de forma determinista. El error, en sentido genérico, cubre todos los casos donde una secuencia planificada de actividades mentales o físicas no consigue los fines deseados, y cuando los fracasos no pueden ser atribuidos a la intervención del azar. Profundizando sobre las categorías anteriores [3]:

1. Deslices y lapsos: Son errores resultantes de fallas en la ejecución de tareas que han sido correctamente establecidas en forma previa. Estos errores no poseen intencionalidad por parte de quien los realiza.
  - La diferencia entre deslices y lapsos es que, mientras los primeros son potencialmente observables, los segundos responden a formas de errores menos evidentes, causados principalmente por defectos de memoria; sin embargo, ambos se encuentran asociados a las malas prácticas por parte del operador o mantenedor.
2. Equivocaciones: Son deficiencias en la instancia de toma de decisiones y el resultado de un conocimiento inadecuado o precario acerca de las tareas a realizar, lo que provoca un defectuoso planteamiento de objetivos y/o un mal procedimiento, lo que impide alcanzar las metas esperadas.

- Es posible que la persona involucrada esté consciente de que se equivocó, pero que no sepa qué error cometió.
3. Violaciones: Se definen como conductas intencionales que se desvían de los procedimientos previamente establecidos, es decir, el trabajador está consciente de que no se encuentra realizando sus labores de acuerdo con los protocolos de la organización. Las violaciones pueden ser gatilladas por distintas situaciones, por ejemplo:
- Violación rutinaria: Su finalidad es reducir el tiempo empleado en un procedimiento y así elevar su rendimiento, pero realizando el menor esfuerzo posible.
  - Violaciones excepcionales: Se establecen como procedimientos inevitables para lograr alcanzar metas puntuales, más aún cuando se trabaja bajo presión.
  - Sabotajes: Su única intención es causar daño a personas, equipos o la organización en general.

Las transgresiones intencionales son ocurrencias fundamentalmente debidas a la certeza de la impunidad del acto practicado, o una sanción leve de la acción indebidamente realizada. Por otra parte, las transgresiones no-intencionales son debidas a la falta de conocimiento de las reglas inherentes a la misión o al comportamiento esperado en el curso de las acciones [3]. De todas formas, se deben separar las transgresiones de los errores humanos, porque las primeras dependen de factores especiales y, muchas veces, difíciles de identificar [13].

Además [13], cuando se considera la interacción entre las personas y los sistemas productivos, se tienen los siguientes factores de errores humanos:

1. Factores antropométricos: Se relacionan con las características físicas, como el tamaño y la resistencia, de los trabajadores. Estos factores no constituyen la causa del problema, sino que son efecto de una falla de diseño de equipos o de la tarea a realizar.
2. Factores sensoriales: Se relacionan con la pericia con que las personas usan sus sentidos para percibir lo que está ocurriendo en su entorno.

3. Factores fisiológicos: Se refieren a las tensiones medioambientales que afectan el desempeño humano.
4. Factores psicológicos: Se refieren a los aspectos internos que tienen raíz en la mente de las personas.

Los principales tipos de errores cometidos en procesos industriales son [3]: el desliz, debido a la falta de atención; los lapsos, debidos a la falta de memoria; el engaño, como una respuesta errónea o la aplicación imprecisa de una regla; y la violación intencional de rutina o como un acto de sabotaje. El último grupo de errores son aquellos que se comenten por falta de conocimiento.

### **1.4.2. Comportamiento Humano**

Estudiar el comportamiento de las personas ayuda a entender por qué se producen los errores y la infidelidad humana. Algunos comportamientos humanos comunes [11] son los siguientes:

- La gente se confunde fácilmente con cosas desconocidas.
- Las personas se vuelven complacientes y menos cuidadosas después de manejar con éxito artículos peligrosos durante un período prolongado.
- Las personas tienden a usar sus manos para examinar o revisar.
- Las personas suelen sobrestimar las distancias cortas y subestimar las distancias grandes u horizontales, como también suelen estimar mal la velocidad o la holgura.
- Las personas son demasiado impacientes para tomarse el tiempo adecuado para observar las precauciones, leer las instrucciones y las etiquetas de forma incorrecta o las pasan por alto.
- La gente espera que los interruptores eléctricos se muevan hacia arriba o hacia la derecha para encender la alimentación, o asumen que al girar las manijas de las válvulas y los grifos en el sentido de las agujas del reloj se aumenta el flujo.
- En emergencias, las personas normalmente responden irracionalmente.

- La atención de la gente se centra en elementos que destacan, como ruidos fuertes, luces intermitentes o luces y colores brillantes. Además, están acostumbrados a ciertos significados de color.
- Las personas no vuelven a revisar su trabajo para detectar errores después de realizar un procedimiento.
- Las personas, en general, desconocen sus limitaciones físicas, por ejemplo, son reacias a admitir que no ven los objetos con claridad, ya sea por falta de visión o iluminación inadecuada.
- Las personas se resisten a admitir errores o equivocaciones.
- La gente asume que un objeto es lo suficientemente pequeño para recogerlo y lo suficientemente ligero para levantarlo.
- Las personas realizan sus tareas mientras piensan en otras cosas.
- Las personas pueden distraerse fácilmente con ciertos aspectos de las características de un producto.
- La gente considera que los productos manufacturados son seguros.

Considerando estos comportamientos y observando al personal trabajar, se pueden sugerir, establecer y reforzar nuevos comportamientos, buscando cambiar la cultura y la percepción de los trabajadores, para que puedan notar sus propios errores y aprender cómo corregirlos. Esto último es clave, ya que desconocemos qué cosas ignoramos, por lo que no podemos mejorar en las cosas que no hacemos o que hacemos mal, si no estamos conscientes de ellas; a este fenómeno se le denomina ceguera cognitiva.

### **1.4.3. Gestión de la Calidad del Mantenimiento (GCM)**

Los siguientes [12] son los principios que un sistema de GCM debe abarcar:

- El error humano es universal e inevitable.
- No es posible cambiar la condición humana, pero es posible cambiar las condiciones en que las personas trabajan. Un error tiene dos partes, un estado mental y una situación. Tenemos un control limitado sobre el estado mental de las personas, pero podemos controlar la situación en la cual trabajan.

- Las mejores personas pueden cometer los peores errores.
- La gente no pueden evitar fácilmente aquellas acciones que no intentaron cometer. Culpar y castigar no son respuestas adecuadas cuando la intención fue buena, pero el resultado no fue el planeado. Esto no significa, sin embargo, que las personas no se hagan responsables de sus acciones y que se les debe dar la oportunidad de aprender de sus errores.
- Los errores humanos son el producto de una cadena de acciones y condiciones que involucran gente, equipos, tareas, lugar de trabajo y factores organizacionales. Descubrir un error humano es el comienzo de la búsqueda de causas, no el fin.
- Muchos errores caen en patrones repetitivos. La mayor parte de los errores de mantenimiento son reconocidos por haber ocurrido con anterioridad, a menudo muchas veces. Apuntar a estos errores recurrentes es la manera más efectiva de abordar los problemas.
- La gestión del error se trata de gestionar lo manejable. Las situaciones son manejables, la naturaleza humana, en su sentido más amplio, no lo es.
- La GCM consiste en hacer excelentes a las buenas personas, no en mejorar a algunas personas propensas a errores.
- La gestión eficaz de la calidad del mantenimiento apunta a una reforma continua en lugar de arreglos locales (soluciones "parche"). Los errores tienden a ser de naturaleza sistémica<sup>4</sup>, por lo que un método más apropiado es tratar el error humano de manera sistemática y continua.

#### **1.4.4. Herramientas de la GCM**

Existen varias herramientas que se pueden aplicar [12], aunque su combinación exacta dependerá de la organización particular.

##### 1. Medidas personales.

- Proporcionar capacitación en factores que provocan errores.
- Implementar medidas para reducir el número de violaciones deliberadas.

- Fomentar el ensayo mental de las tareas antes de su realización.
- Controlar las distracciones.
- Insertar marcadores de lugar en puntos apropiados del procedimiento.

## 2. Medidas de equipos.

- Proporcionar entrenamiento de trabajo en equipo. La formación eficaz de equipos se centrará en habilidades de comunicación, desarrollo del personal y habilidades de liderazgo, gestión de la carga de trabajo y capacidades técnicas.

## 3. Medidas sobre el lugar de trabajo y las tareas

- Asegurarse de que el personal solo realice tareas cuando esté debidamente capacitado, especializado y calificado.
- Gestión de la fatiga.
- Asignar tareas adecuadamente. Particularmente, no dejar que las tareas cotidianas caigan en deslices y lapsos, y permitir que las tareas poco frecuentes solo sean realizadas por personal con experiencia.
- Asegurarse de que el equipo y las tareas estén correctamente diseñados.
- Hacer cumplir las normas de buena limpieza y orden.
- Asegurarse de que los repuestos y herramientas sean bien gestionados.
- Escribir y usar instrucciones efectivas del trabajo de mantenimiento.

## 4. Medidas organizacionales

- Implementar procesos efectivos para analizar y aprender de los fallos pasados.
- Implementar procesos proactivos para evaluar el riesgo de futuros errores de mantenimiento.

### **1.4.5. Estrategias de CH**

Principalmente, se tienen cuatro estrategias vitales [13] en la orientación y mejoramiento de la CH, detalladas a continuación.



Figura 1.3: Estrategias de la Confiabilidad Humana [15].

1. Gestión del conocimiento: Es el proceso sistémico que provee el talento humano<sup>5</sup> capacitado para ejercer las labores industriales y preservar el capital intelectual de la organización<sup>6</sup>.
  - La gestión del conocimiento es mucho más que tecnología y bases de datos. Es conectar la gente con los expertos y con la información, es gestionar la información para aprovecharla como ventaja competitiva, para interpretarla y aplicarla de modo que soporte la toma de decisiones.
  
2. Gestión por competencias: Es el modelo para gestionar el talento, que promueve a su vez la identificación, adquisición, potenciación y desarrollo de competencias que añaden valor a la organización. Un perfil de competencias depende básicamente de las funciones que se desarrollen en el puesto de trabajo y, por supuesto, de las estrategias y de la cultura organizacional. La principal ventaja competitiva del personal es la capacidad de adaptarse al cambio.
  - Este perfil debe ser cumplido tanto por operarios en ejercicio como los nuevos que sean contratados, ya que establece estándares sobre qué tipo de comportamiento y rendimiento son aceptables. En él se deben definir las características importantes del puesto de trabajo, para cada sección, como también los aspectos culturales y de personalidad que armonizan con la visión de la organización.
  
3. Equipos naturales de trabajo: Es un conjunto de personas de diversas funciones

dentro de la organización, que trabajan juntas por un período de tiempo determinado, en un clima de potenciación de energía, para analizar los problemas comunes de distintos departamentos, apuntando al logro del objetivo común.

- Un equipo natural de trabajo debería incluir (uno o dos) operadores y mantenedores, un planificador, un especialista en el área, un diseñador o encargado de procesos y un facilitador o asesor técnico.

4. Gerencia del desempeño: Es el proceso que permite monitorear y evaluar la idoneidad del talento humano durante la implantación y desarrollo de las estrategias propuestas, con el fin de garantizar la generación de valor y establecer las acciones correctivas de manera proactiva. El objetivo no es crear expertos, sino lograr el aprendizaje de habilidades sociales y la mejora de las relaciones interpersonales.

Para lograr una alta CH [13], son fundamentales los procesos de capacitación y formación de habilidades. Si el personal desconoce cómo realizar las tareas, no las pueden desempeñar. Una buena política de capacitación debe integrarse con la política general de la empresa y debe aunar la formación interna con la externa. Por tanto, la educación se convierte en vehículo de difusión no sólo de conocimientos, sino de la cultura propia de la organización.

Puede no ser agradable pensar que somos criaturas que responden a premios y castigos, pero el hecho es que funciona. Por esto, debe complementarse lo anterior con políticas de motivación e incentivos, para que el personal realice sus labores con agrado y satisfacción.

La empresa desea la más alta producción posible, manteniendo un buen estándar de calidad, seguridad del trabajador y una gestión adecuada de sus activos fijos. Los trabajadores desean que se evalúe con acierto su desempeño, que el incentivo que se les brinde sea atractivo, con una cobertura racionalmente amplia y fácil de entender. Los clientes desean un producto de máxima calidad, a precio razonable y que satisfaga sus expectativas [15].

#### **1.4.6. Medidas de CH e indicadores de Mantenición**

El error humano se encuentra en todos los rubros y forma gran parte de los errores ocurridos en la industria. Es sabido que la CH y el HRA tienen éxito en identificar

estos errores y combatirlos, que su implementación mejora la estabilidad de procesos y mejora las prácticas laborales. Sin embargo, aún es materia de estudio el impacto real o preciso que tiene cada método del HRA o cada medida de CH [19], ya que su aplicación varía en gran manera entre una organización y otra, por lo que no es posible postular correlaciones numéricas o determinísticas de cómo afecta, por ejemplo, un tipo de capacitación a una variable de mantenimiento. Sin embargo, existe documentación que avala los resultados de mejora de la CH a procesos industriales.

## **1.5. El Error y sus Causas**

Como ya se explicó anteriormente, existen varias formas de clasificar el error. Para este manual, se consideran los errores técnicos e inadvertidos (deslices, lapsos y equivocaciones), no los conscientes (violaciones y sabotajes), ya que su inclusión complica en exceso el análisis del comportamiento humano y estos representan el menor porcentaje de aporte de errores humanos.

De todas formas, en toda organización debería existir una política para los errores conscientes, para evitar o detectar y castigar su ocurrencia. Además, se deben evitar las situaciones en las que pueden ocurrir violaciones excepcionales, debido a la exigencia de tareas imposibles o metas muy altas.

Por otro lado, se deben tener en mente los factores antropométricos, sensoriales, fisiológicos y psicológicos de los trabajadores, cuando se buscan las causas de los errores humanos.

En ingeniería, particularmente con relación al MP, se cuenta con distintos métodos para el estudio del error y sus causas. El estudio de las causas del error pertenece a la gestión proactiva, que busca prevenir la ocurrencia de problemas, en vez de reaccionar a ellos. Básicamente, la búsqueda de estas causas se resume en cuatro pasos: identificar y describir el problema (error, falla, infidelidad); establecer una línea temporal desde la situación normal hasta la ocurrencia del problema, distinguir la causa raíz<sup>7</sup> y otros factores; establecer un gráfico causal<sup>8</sup> entre la causa raíz y el problema. Una vez concluida la búsqueda, se toman medidas correctivas para evitar que el problema vuelva a ocurrir. Para ser efectivo, el análisis de la causa raíz debe realizarse sistemáticamente.

### 1.5.1. Metodología del RCA

Aparte del RCA básico ya descrito, se pueden implementar los siguientes métodos para encontrar la causa raíz de los errores humanos:

1. Análisis de los 5 porqués: Al identificar el problema y luego preguntarse "por qué" cinco veces, profundizando progresivamente en el problema, la causa raíz puede identificarse y abordarse estratégicamente.
  - A pesar de lo simple que parece este análisis, es una técnica que ha demostrado su efectividad innumerables veces.
2. Modo de Fallas y Análisis de Efectos (FMEA): Es un método utilizado, principalmente, durante el diseño de productos o procesos, para explorar posibles defectos o fallas. Además, es usado para identificar qué partes de un proceso presentan problemas, ya que permite determinar la cantidad de veces que ocurre una falla, las acciones implementadas por la organización para evitar que la falla se repita y determinar las áreas donde las acciones tomadas fueron efectivas.
  - Es una de las técnicas más elaboradas, siendo parte de políticas de nivel mundial como  $6\sigma^9$ . Cuando se aplica a las fallas de procesos, se denomina modo de fallas de procesos y análisis de efectos (PFMEA, por sus siglas en inglés).
3. Análisis de Pareto: Usando el principio de Pareto<sup>10</sup>, este método ordena en un histograma<sup>11</sup> las causas del problema y sus frecuencias, de la más a la menos importante, notando el aporte porcentual de cada causa. Luego, se centra en corregir las causas de mayor aporte.
  - Aparte de la frecuencia, se puede graficar el costo, la dificultad de mejorar o algún otro factor que entregue información del peso relativo de cada causa, para poder priorizarlas.
4. FTA: El árbol de fallas busca identificar, mediante el álgebra booleana<sup>12</sup>, todas las posibles fallas que pudieron causar el problema original.
5. Árbol de Realidad Actual (CRT): Similar al anterior, el CRT analiza un sistema complejo o un grupo de problemas, relacionando todas sus causas posibles mediante relaciones causales ("si", "y", "entonces"). Eventualmente, se encuentra una causa que es la raíz de todos los problemas iniciales.

6. Diagrama de Ishikawa o de Espina de Pescado: Es un método gráfico que agrupa las causas del problema en las categorías: gente, mediciones, métodos, materiales, entorno y máquinas. Cada categoría tiene múltiples subgrupos, que ayudan a profundizar progresivamente en el estudio.

- De acuerdo a la aplicación particular o al rubro de la organización, las categorías pueden variar. Por ejemplo, en manufactura son usadas las 6M: materiales, maquinaria, mano de obra, mediciones, medio ambiente y métodos.

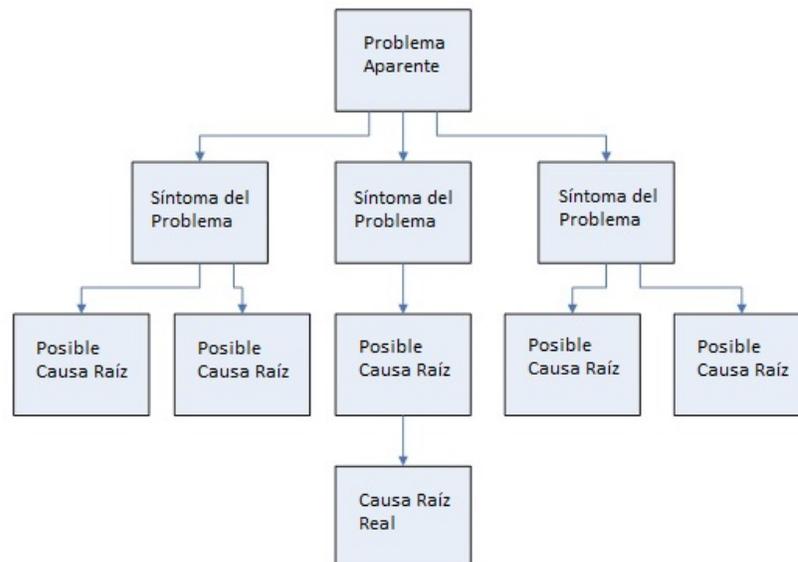


Figura 1.4: Ejemplo de un gráfico causal, resultado de un análisis de causa raíz [30].

Existen otros métodos, como la técnica de Kepner-Tregoe, gráficos de dispersión y el método de diagnóstico RPR (resolución rápida de problemas), y aunque todos los métodos tienen procedimientos similares con elementos particulares propios, cada uno puede ser usado para analizar las fallas relevantes de una organización y encontrar sus causas elementales.

Naturalmente, encontrar la causa raíz de un problema no es el fin, luego se deben estudiar sus posibles soluciones, seleccionar e implementar alguna de ellas y verificar que se erradicó la falla; además, esto abre paso a la aplicabilidad de las técnicas de mejora continua, como el ciclo PDCA<sup>13</sup>.

### **1.5.2. Criticidad del Error**

El análisis de criticidad (AC) es una herramienta utilizada en múltiples contextos, con el objetivo de priorizar los esfuerzos y recursos en los temas de mayor importancia. De la misma forma, cuando se habla de analizar los errores humanos, no se hace referencia a todas las fallas que ocurren en cualquier momento.

En toda organización, los recursos son limitados y se deben enfocar los esfuerzos en aquellas actividades que entregan el mayor retorno, en comparación a la inversión realizada. De esta forma, se debe priorizar el análisis de las fallas que causan la mayor pérdida de recursos, las que tengan mayor frecuencia de ocurrencia y las que tienen la peor consecuencia potencial, entre otros factores definidos por la organización.

## **1.6. Competencia: Saber, Poder, Querer, Hacer**

Existen muchas formas de definir y clasificar la pericia, el conocimiento y la capacidad de un trabajador. En este documento, se dirá que un trabajador está capacitado para realizar una tarea si este sabe llevarla a cabo, puede realizarla y quiere hacerlo.

La enseñanza funciona mejor cuando el alumno quiere aprender, de la misma forma, para que una capacitación sea efectiva, el trabajador debe querer aprender y tener una motivación que lo impulse, ya sea por superación personal o desarrollo profesional, para mejorar en su trabajo, para especializarse o para que se le pague más.

Una vez que el personal tiene los conocimientos para realizar una tarea, se debe garantizar que cuenta con todos los recursos necesarios para su realización, ya sea tiempo, transporte, insumos, repuestos, máquina disponible, entre otros.

Más importante aún, el trabajador debe tener cierta actitud para realizar su trabajo. Si un trabajador no se siente bien o piensa que no debería realizarse una tarea por un motivo justificado, su opinión debe ser tomada en cuenta, no solo para tener una buena relación en el grupo de trabajo, sino porque su rendimiento estará lejos del deseado o esperado de él o ella si se le fuerza.

Se puede hablar de un empleo como una transacción simple, un trabajador realiza su trabajo y es compensado de forma monetaria por él; sin embargo, esto rara vez es suficiente para que un empleado esté a gusto y conforme con su trabajo. Un trabajador dará lo mejor de sí en su trabajo cuando se sienta feliz en él [31], para esto debe sentir

que su opinión cuenta y que se confía en él.

## 1.7. Estándares Internacionales

La familia de estándares ISO 55000 trata sobre la gestión de activos. Su principal foco es la gestión de activos y el sistema de gestión de activos. Esto no se refiere a un software en particular, sino a los procesos, desde el liderazgo gerencial hasta la operación, y cómo demostrar el cumplimiento de la norma. Los puntos principales del estándar se presentan en la tabla 1.1.

Estándar Internacional	
Áreas de Cumplimiento	Desglose
Contexto de la Organización	Objetivos organizacionales Requerimientos de los interesados Alcance del sistema de gestión de activos Estrategia de la gestión de activos
Liderazgo	Compromiso de liderazgo Gestión de activos Roles, responsabilidades y autoridades
Planificación	Riesgos y oportunidades Planes para los activos Planes para el sistema de gestión de activos
Soporte	Recursos Competencia Conciencia Requisitos de información Documentación
Operación	Planificación, implementación y control Gestión del cambio Externalizar
Evaluación del Desempeño	Vigilancia, medición, análisis y evaluación Auditoría interna Revisión de la gestión
Mejoramiento	Disconformidad y acción correctiva Acción preventiva Mejora continua

Tabla 1.1: Elementos y sub-elementos de la norma ISO 55000.

El presente documento no tiene una relación directa con la gestión de activos, sino más bien con los procesos de una organización. Los puntos más importantes del estándar para esta memoria son:

- El contexto y la definición de los objetivos de la organización, en base a las necesidades de todas las partes interesadas, debe alinearse con cada parte de esta y verse reflejado en el actuar de cada empleado, sin importar su puesto o jerarquía.
- Con los objetivos claros, la gerencia debe demostrar el liderazgo y el compromiso para gestionar los cambios necesarios. Para esto, debe establecer roles y responsabilidades claras.
- Los trabajadores, en el tema de soporte, deben ser competentes y estar conscientes de la alineación de objetivos, de su rol y su responsabilidad específica, como también saber qué hace cada otra parte de la empresa.
- La auditoría interna y la revisión de gestión, de la evaluación del desempeño, se pueden extender desde la gestión de activos hacia las prácticas de CH, para revisar que se implemente de buena forma y que los cambios establecidos se mantengan.
- La mejora continua es, claramente, algo que debe impregnar cada parte de una organización.

Por otro lado, la planificación, operación, evaluación del desempeño y el mejoramiento son un tipo de ciclo PDCA para la gestión de activos y su mejora continua, mientras que el soporte se refiere a contar con todos los recursos necesarios para la funcionalidad del ciclo y su documentación.

## **1.8. Alcance de la Memoria**

Existen suficientes publicaciones que detallan las metodologías del HRA y la aplicación de estas varía para cada organización, debido a su rubro, cultura, entorno, etc. En cambio, la CH engloba diferentes medidas y prácticas que, de forma general, contribuyen a disminuir la infidelidad humana, reduciendo los errores desde la base misma: el elemento humano. Estas prácticas son similares para todo tipo de industria, porque se centran en la actitud y aptitud de las personas, como también en su entorno, y no

solo en las tareas que realizan. Por este motivo, esta memoria se basa en la CH para mejorar las prácticas en el Mtto, a partir de mediciones e indicadores que ya deberían registrarse en su organización, interpretando estos datos y traduciéndolos en medidas a implementar, para ayudar en la toma de decisiones, la gestión del conocimiento y la calidad del mantenimiento, entre otros; y, últimamente, aportando al cumplimiento de metas y mejorando los KPI de Mantención.

Como se dijo anteriormente, cierto nivel de MP es necesario para la aplicación de este manual, particularmente el MPv, ya que aporta con el conocimiento de cómo llevar registros adecuados y realizar tareas de forma planificada, como también la base de analizar fallos, encontrar causas raíz, registrar y mejorar indicadores, entre otros.

Se considera un error humano o una falta de confiabilidad, en la presente memoria, a una tarea de mantenimiento preventivo que no se realizó o que no tuvo éxito la primera vez, debido a errores técnicos e inadvertidos, o la ocurrencia de incidentes durante su desarrollo.

## Notas

<sup>1</sup>Operando matemático que denota la multiplicación, finita o infinita, de un grupo de factores.

<sup>2</sup>La homeostasis es la autorregulación de la constancia de las propiedades de un sistema influido por agentes exteriores.

<sup>3</sup>Generalmente, se dice que la vida útil de un activo tiene tres etapas: puesta en marcha, operación y envejecimiento (falla inminente).

<sup>4</sup>El enfoque sistémico hace referencia a la totalidad de un sistema, lo general en vez de lo local.

<sup>5</sup>El talento o capital humano es la potencialidad productiva de las personas de una empresa, en función de su educación, formación y capacidades.

<sup>6</sup>El capital intelectual interno de la organización comprende la cultura organizacional, el conocimiento, los procesos y los sistemas; mientras que el externo comprende las relaciones con clientes y proveedores, su reputación y prestigio.

<sup>7</sup>La causa raíz es el primer factor en una cadena causal que conduce a un error o falla, por lo que suele ser el factor más básico o sencillo de la cadena.

<sup>8</sup>El gráfico causal es un esquema que resume la sintomatología del problema original, estableciendo sus posibles causas e identificando su causa raíz.

<sup>9</sup>Seis Sigma es un sistema de gestión de la calidad total, que busca solucionar problemas y mejorar procesos mediante el método científico. Básicamente, busca eliminar la variación

estadística de los procesos y su método principal es el ciclo DMAIC: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

<sup>10</sup>El principio de Pareto, también conocido como la regla del 80/20, establece que aproximadamente el 80 % de los efectos provienen del 20 % de las causas.

<sup>11</sup>Un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

<sup>12</sup>El álgebra o lógica de Boole es una rama de la matemática que trata con variables que toman exclusivamente los valores "verdadero" y "falso" (1 y 0, respectivamente), y sus operadores principales son la conjunción "y" ( $\wedge$ ), la disyunción "o" ( $\vee$ ) y la negación ( $\neg$ ) de las variables.

<sup>13</sup>El ciclo PDCA es un método de gestión iterativo de cuatro pasos (planear, hacer, verificar y actuar) utilizado en la industria para el control y la mejora continua de procesos y productos.

# Capítulo 2

## Explicación del Modelo

Se profundizará en este capítulo sobre los alcances de la memoria, su contenido y su estructura. Se ahondará sobre los métodos a tratar en el manual, presentándolos en detalle.

El modelo propuesto busca analizar el comportamiento humano mediante herramientas estadísticas, identificando tendencias, elementos aleatorios y transitorios, entre otros. Para esto, se emplea un juego de negocios<sup>14</sup> en forma de una simulación de datos de mantención, relacionados con el comportamiento humano, el desempeño del elemento humano y sus errores.

### 2.1. Entradas del Modelo

Como en todo proyecto que involucra a una organización, se debe estudiar la situación actual mediante la recolección de información de los procesos internos; en el caso de esta memoria, se tratará con una situación simulada.

El modelo por considerar se basa en la situación de una empresa productiva, que cuenta con áreas de Mantención y Producción, entre otras. Por lo anterior, se hablará comúnmente sobre técnicos mantenedores y operarios. El modelo puede llegar a ser implementado en otro tipo de organizaciones, como empresas de servicios; aunque este no es el grupo objetivo de la investigación, de todas formas, se darán algunas recomendaciones para estos casos en el manual.

### 2.1.1. Contexto Actual

La información relevante por recolectar en esta etapa tiene que ver, principalmente, con el área de Mantenimiento, en menor parte con Producción y, en cierto modo, con el resto de las áreas organizacionales, como la gerencia, recursos humanos, etc.

Si el MP ha sido implementado con antelación, la organización debe ya recolectar información de mantenimiento y medir el cumplimiento de objetivos y KPI. Para esto, se controlan indicadores como C %, D % y M %, como también algún tipo de medida de seguridad o riesgo. Además, se realizan mantenciones preventivas y análisis de causa raíz para la erradicación de modos de falla (para averías de máquina).

### 2.1.2. Mediciones

Los datos de mantenimiento deben ser relacionados con factores humanos, el comportamiento de las personas, sus errores comunes, entre otros. Es probable que, más adelante, se haga evidente que muchos problemas que ocurren en el mantenimiento tienen causas humanas, sin embargo, usualmente estas causas son ignoradas en favor de las relacionadas con la naturaleza de las máquinas. Esto es lo que se busca cambiar. Los indicadores mencionados anteriormente pueden ser divididos en sub-partes, que los constituyen y son generalmente medidas para calcular dichos indicadores. Por ejemplo:

- La Confiabilidad engloba otros indicadores como la tasa de fallas ( $\lambda(t)$ ), el tiempo medio a la falla (MTTF), el tiempo medio entre fallas (MTBF), ciclos medios entre fallas (MCBF), tiempo medio de detección de fallas (MFDT), entre otros.
- La Mantenibilidad agrupa elementos como el tiempo estimado de una parada (MDT), tiempo medio de mantención, ya sea correctiva (MCDT) o preventiva (MPDT), y el tiempo medio para reparar (MTTR).
- La Disponibilidad se calcula, comúnmente, relacionando algunos de los factores anteriores, como el tiempo medio a la falla y el tiempo estimado para reparar.
- La Seguridad involucra factores como la tasa de riesgo (HR), el análisis de riesgo (HA), etc.

### 2.1.3. Objetivos y KPI

A partir de los datos recolectados, se deben encontrar categorías que tengan estrecha relación con situaciones influenciadas por la intervención humana, para analizarlas e incluirlas en las rutinas de corrección y prevención.

Desde la M % y la D %, la pronta respuesta de los técnicos y su efectividad de mantenimiento, en base a las políticas de mantención establecidas, se puede medir un indicador de avances de tareas programadas, para cada mantenedor, que refleje su cumplimiento y responsabilidad para con su asignación de carga de trabajo.

Con respecto a la C %, se puede medir el éxito o la calidad de mantenciones, en el primer intento, de cada técnico. Este valor debe ser corroborado posteriormente, ya que las consecuencias de una mantención defectuosa pueden manifestarse tardíamente.

A partir del indicador anterior, se puede registrar también el número de mantenciones fallidas tras el primer intento, que deben volver a realizarse si existe el tiempo, o ser reagendadas. Este factor tiene que ver el desempeño de los técnicos, pero también con su manejo del riesgo y el cumplimiento con las medidas de seguridad establecidas. Otra forma de controlar el cumplimiento de las indicaciones de seguridad es el registro de incidentes cometidos por los mantenedores.

Los KPI aquí propuestos no tienen por qué ser los que el lector incorpore en su gestión. Se pueden identificar y establecer muchos otros valores a seguir a partir de las sub-partes de los indicadores insignia de Mantención, descritos anteriormente. Cada organización y grupo de trabajo debe establecer sus propios objetivos, el nivel de cumplimiento a lograr y la forma de conseguirlo, como también el modo en que se les dará seguimiento a los indicadores.

Se recuerda que esta labor debe complementar el registro actual de datos, no disminuirlo. Se debe incorporar el análisis y corrección de errores humanos, sin afectar de forma negativa el cumplimiento de los objetivos de Mantención, sino que usando la estructura actual como piso sobre el cual construir un mejor sistema de gestión del mantenimiento. En este sentido, es recomendable relacionar los indicadores nuevos con los ya establecidos, para mantener un único enfoque y no dividir esfuerzos en cuanto a fallas humanas y averías de maquinaria. Por ejemplo, se pueden relacionar los errores humanos con las tareas o procedimientos realizados, como también con las máquinas donde ocurrieron dichos errores.

#### **2.1.4. Sección Piloto**

Es difícil juzgar la viabilidad de un proyecto sin tener resultados. En primera instancia, el modelo busca ser implementado en un número limitado de secciones del área productiva, generalmente una para empezar.

La idea es comenzar con una sección que no sea crítica para la línea de producción, pero que sea importante, de esta forma no se compromete en gran medida a toda la organización, pero los resultados conseguidos tendrán peso para luego convencer de la extensión del modelo al resto de la organización.

### **2.2. Modelo Propuesto**

Una vez elegida la sección inicial, determinados los objetivos que se buscan conseguir y cómo hacerles seguimiento, mediante ciertos indicadores de desempeño, se debe establecer un periodo de tiempo de estudio. Durante este tiempo, se registrarán los datos actuales y reales de la organización, que denotan la situación en la que se encuentra en relación con los nuevos KPI determinados. Dependerá de cada organización determinar cuánto tiempo durará su estudio, podría ser desde un par de meses hasta un año, o más, lo importante es generar suficientes datos para comenzar el análisis, identificación, categorización y control del error humano. Además, al final del estudio y después de este, deberían empezar a aparecer patrones en el desempeño de cada mantenedor, los que podrían permitir predecir situaciones problemáticas antes de que ocurran.

Para reflejar lo anterior, en este modelo se realizará la simulación de una situación que represente el periodo de estudio de alguna empresa productiva. Este periodo será de seis meses, durante el cual se estudiarán los indicadores antes descritos: avance de tareas programadas (ATP), mantenimientos exitosos a la primera (MEP), mantenimientos fallidos (MF) e incidentes (INC); para diez técnicos mantenedores.

Para cada trabajador, se incluirá una tabla donde se presenten los resultados de la simulación, es decir, el valor de los KPI seleccionados para cada mes del estudio inicial. Para diferenciar a cada mantenedor y poder analizar distintos casos en la misma simulación, se les asignará un rendimiento promedio y un rango de variabilidad para el indicador MEP. El ATP consiste en la suma del MEP y un valor aleatorio. Los MF dependen directamente de los mantenimientos exitosos. Se establece para esta memoria que solo pueden ocurrir incidentes en mantenimientos fallidos, por lo que el INC depende de

MF y de un porcentaje aleatorio (probabilidad) que lo multiplica.

Para cada caso, se analizará el desempeño simulado de estos técnicos, se discutirá su cumplimiento con los objetivos propuestos, si existe algún patrón de comportamiento observable durante el estudio y, luego, se darán recomendaciones basadas en la CH.

Nótese que los datos de esta simulación no tienen por qué coincidir con los registrados en su empresa, incluso si el lector elige controlar los mismos indicadores aquí propuestos. La idea es familiarizar al lector con el procedimiento que el modelo propone, tras la recolección de datos, pasando por el análisis de estos y terminando con la implementación de medidas de CH, que controlen la ocurrencia y limiten la recurrencia de errores humanos.

Para reflejar otros casos que no puedan ser observados en la simulación anterior, ya sea por falta de suficientes registros, por comportamientos ocultos en los datos (distribuciones multimodales<sup>15</sup>), entre otros; se realizará una simulación de casos secundarios, junto con su análisis correspondiente, que reflejen patrones de comportamiento marcados, sobre un tiempo de estudio mayor, con tal de realizar recomendaciones sobre estas situaciones.

Además, se propondrá en el manual una estructura para organizar los modos de falla, que incorpore tanto las causas de naturaleza humana como las relacionadas con las máquinas, junto con sus soluciones correspondientes, en forma de un árbol de solución de problemas.

## **2.3. Salidas del Modelo**

### **2.3.1. Estadísticas del Comportamiento Humano**

Como ya se informó, después del estudio inicial, se debe hacer un seguimiento del registro de datos relacionados con el desempeño y el error humano, a partir de los KPI seleccionados inicialmente y de otros que puedan ser incorporados. Además de permitir el control de estos indicadores, bajando su variabilidad y luego mejorando sus números, con tiempo este seguimiento arrojará patrones o tendencias de comportamiento, que pueden ser utilizados para prevenir situaciones complejas que puedan involucrar a los trabajadores; por ejemplo, un desempeño deficiente que se manifiesta cada cierta cantidad de meses puede derivar en un problema mayor, debido a causas ocultas que

podrían haber sido analizadas a tiempo y remediadas, como el estrés o una situación personal del empleado.

### **2.3.2. Aportar a la Toma de Decisiones**

Con datos de respaldo se pueden tomar decisiones acertadas y de mayor impacto, previendo problemas antes que ocurran o solucionándolos antes de que se vuelvan crónicos. Por ejemplo, si se detecta un desempeño decreciente de un técnico mantenedor por un periodo considerable de tiempo, se puede intervenir al trabajador, averiguar qué lo perturba (la causa raíz) y asistirlo en su situación.

La información generada también permitirá contrastar la situación inicial de la organización, reflejada por los KPI del periodo de estudio, con los indicadores obtenidos luego de la implementación del modelo. En base a esta comparación, se podrá determinar qué medidas tuvieron mayor aporte, qué factores pueden seguir mejorándose o requieren de mayor atención, entre otros.

### **2.3.3. Mejoras de KPI**

Una vez solucionados los errores humanos más comunes, los indicadores de Mantenimiento, como la C %, como también los de otras áreas directamente relacionadas, verán una mejoría. Esta se hará más pronunciada a medida que el sistema se haga más completo, se expanda a otras secciones productivas, se persigan fallas nuevas que antes pasaban desapercibidas y se trate al elemento humano con la importancia debida, tal como se hace con las máquinas.

Al considerar nuevas fuentes de error y atacar nuevos modos de falla, inevitablemente mejorarán los indicadores de Mantenimiento, aunque en qué cantidad no puede ser determinado aún.

## **2.4. Modelo y Manual**

El producto del modelo es el Manual de Confiabilidad Humana (anexo A, página 66), el cual incorpora las partes más importantes de esta memoria, como los resultados de la simulación y su análisis, proponiendo soluciones y formas de controlar los errores humanos mediante medidas de confiabilidad humana.

## Notas

<sup>14</sup>Un juego de negocios se puede definir como un juego serio en el ambiente de los negocios, que puede conducir a alguno de los siguientes resultados: la formación de jugadores en habilidades de negocios o la evaluación del desempeño de los jugadores [16]. En otras palabras, es una situación simulada o ficticia, usada para un propósito educacional.

<sup>15</sup>Una distribución multimodal es el comportamiento estadístico exhibido por un grupo de datos donde se observa más de una media, es decir, los datos no tienen un máximo global sino que se agrupan alrededor de máximos locales.

# Capítulo 3

## Simulaciones

En este capítulo se discuten los criterios utilizados para realizar las simulaciones de los registros hipotéticos de mantenimiento y KPI, los cuales serán la base del análisis que determinará las medidas de CH a aplicar, para distintos casos y situaciones que se pueden dar en el área de Mantención.

El objetivo de esta simulación es mostrar que, a partir de cualquier situación actual de su organización, se puede diagnosticar y analizar dicha situación, determinar medidas a aplicar y, luego, medir el nuevo rendimiento para contrastar con la situación base.

Se utiliza el software Excel de Microsoft Office 365 ProPlus para realizar las simulaciones, específicamente sus funciones "Aleatorio()"<sup>16</sup> y "Aleatorio.entre()"<sup>17</sup>. Ambas funciones están disponibles desde la versión Excel 2007 del programa.

Para describir los resultados, se usarán medidas de tendencia central y dispersión, como la media aritmética<sup>18</sup> y la desviación estándar<sup>19</sup> de los datos, para analizar su variabilidad.

### 3.1. Criticidad y Selección

No todos los errores cometidos son candidatos para su estudio y solución. Un mantenimiento que no se pudo realizar porque el mantenedor no tuvo acceso a una máquina, por ejemplo, debido a una decisión de Producción, no debe considerarse como una falla.

Se deben estudiar los registros de errores y faltas cometidas, mediante un análisis de criticidad, que ayude a la toma de decisiones sobre qué error atacar, qué procedimiento revisar o qué máquina inspeccionar, tal como ocurre en el MP.

Los siguientes casos simulados reflejan el desempeño de técnicos hipotéticos en tareas similares, ya sea en cuanto a dificultad de la mantención, tiempo o recursos a emplear, riesgos o preparación previa. Por lo anterior, se recomienda emplear el método descrito en el caso principal de este capítulo en secciones o áreas productivas que tengan equipos similares o afines. Por ejemplo, en una empresa productora que usa inyección de plástico y ensamblaje como algunos de sus procesos, deberían separarse los registros para las mantenciones de estas áreas ya que, generalmente, operan con condiciones muy distintas.

## **3.2. Caso Principal**

El caso principal es el de un taller de mantenimiento simulado que consta con diez técnicos, los cuales tienen distintos niveles de rendimiento en los indicadores antes descritos: ATP, MEP, MF y INC. A pesar de tratarse un caso hipotético, se le dará un nombre a cada mantenedor, para recordar que en la práctica se tratará con personas reales.

Para denotar la diferencia entre el desempeño de cada mantenedor, se les asigna un rendimiento promedio y un rango de variabilidad para el indicador MEP, lo que repercute en el resto de los KPI. El objetivo detrás de esto es poder analizar distintos casos en la misma simulación y compararlos entre sí. Este rendimiento promedio asignado, que se le denominará rendimiento histórico, busca reflejar lo que se espera del mantenedor, en base a su desempeño previo al periodo de estudio.

Se controlará su desempeño durante seis meses, para establecer una línea base de la situación actual.

### **3.2.1. Variables Relevantes**

Para cada mantenedor en cada mes del estudio, se registrará su avance en:

1. 10 mantenciones de MPg y/o MPd (planificadas preventivas).
  - Mantenimientos exitosos a la primera.
  - Mantenimientos fallidos.
    - Incidentes.

## 2. 10 tareas de MO y/o MJ (planificadas no preventivas).

Es decir, cada técnico puede realizar como máximo veinte tareas de mantenimiento planificado, diez preventivas y diez no preventivas. Se medirán los siguientes cuatro indicadores y su avance:

- N°1: Avance de tareas programadas (ATP) [%].
  - Para cada mes, suma un número aleatorio entre cero y diez (tareas de MO y/o MJ), con los mantenimientos exitosos a la primera (tareas de MPg y/o MPd, valor del indicador MEP) y los divide en 20.
  - Por ejemplo, si un técnico realiza en un periodo cuatro tareas no preventivas y seis preventivas, su ATP resultante es 50 %.
- N°2: Mantenimientos exitosos a la primera (MEP).
  - Número aleatorio entre un mínimo y un máximo, para un rango determinado pero contenido entre cero y diez, con tal que cumpla con un rendimiento promedio asignado al nivel del trabajador, entre deficiente y sobresaliente, como se indica en la tabla 3.1.
  - Por ejemplo, se establece que un trabajador promedio cumple con el 60 % de sus mantenimientos preventivos, por lo que realiza de buena forma, a la primera, cuatro a ocho mantenimientos al mes.
- N°3: Mantenimientos fallidos (MF).
  - Resta entre diez, el número máximo de tareas preventivas posibles en un mes, y los mantenimientos exitosos a la primera (MEP).
  - Por ejemplo, si un mantenedor realizó solo dos mantenciones exitosas a la primera en un periodo, entonces tuvo ocho mantenimientos fallidos, por lo que su MF correspondiente es 8.
- N°4: Incidentes (INC).
  - Se multiplica un porcentaje aleatorio, que representa la probabilidad de que ocurra un incidente, con el número de mantenimientos fallidos (MF), redondeando al entero, para cada periodo y mantenedor.

- Usando el ejemplo anterior, con un MF de 8 y un porcentaje aleatoriamente generado de 33 %, el INC correspondiente sería 3, es decir, el mantenedor tuvo participación en tres incidentes en ese periodo.

Para añadirle una nueva dimensión al registro de estos indicadores, relacionándolo con el mantenimiento tradicional, se puede contabilizar la máquina específica donde ocurrió cada falla y la tarea que se estaba realizando. Esto puede hacerlo el mismo mantenedor, un supervisor o el analista responsable de llevar el registro de datos. La idea es registrar qué tareas y/o máquinas aportan en mayor medida al número de mantenimientos fallidos. Para esto, en la simulación se establece que en la sección estudiada se realizan tres tareas de mantenimiento preventivo distintas y que se cuenta con cuatro máquinas sujetas a mantención, tal que se tiene una matriz de  $4 \times 3$ , donde se reparten las fallas de acuerdo con cierta distribución.

Normalmente, usted tendrá su propio registro de tareas fallidas y errores cometidos por máquina, con una distribución específica. El hecho que el comportamiento aquí simulado y el medido por el lector sean distintos no es de mayor importancia, lo importante es lo que se puede observar y deducir de este comportamiento, las recomendaciones de medidas que se pueden implementar y los resultados esperados; los cuales pueden ser generalizados y explicados, para abarcar casos comunes.

### 3.2.2. Categorización

Se establecen cinco categorías de trabajadores, presentadas en la tabla 3.1.

Rendimiento	Mínimo-Máximo	Rendimiento Promedio	Cantidad
Deficiente	0 – 6	30 %	1
Insuficiente	2 – 7	45 %	2
Promedio	4 – 8	60 %	4
Bueno	5 – 10	75 %	2
Sobresaliente	8 – 10	90 %	1

Tabla 3.1: Categorización de rendimiento de un trabajador, mínimo y máximo de tareas preventivas que puede realizar, promedio de tareas realizadas y cantidad de trabajadores por categoría.

### 3.2.3. Resultados

De la simulación, se obtuvieron los resultados presentados en las figuras 3.1 y 3.2. Para ambas figuras, se muestra la tabla de las variables simuladas para cada técnico mantenedor. La tabla está ordenada según el rendimiento histórico de los trabajadores, de acuerdo con sus promedios de mantenimientos exitosos a la primera, del mejor al peor. En la siguiente subsección se presentarán de forma gráfica los resultados.

Por otro lado, en la figura 3.3, se cuentan los mantenimientos exitosos y fallidos para cada periodo, y se relacionan con las tareas y máquinas de la sección en estudio. En particular, se registran los errores cometidos en cada máquina (M) por cada tarea (T). Se acompañan los datos con su forma gráfica, para facilitar su lectura. En cada gráfico de columnas agrupadas, que representa lo ocurrido en un mes de estudio, la escala vertical mide la cantidad de fallas cometidas en cada máquina del eje horizontal.

Técnico de Mantenimiento		Periodo					
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
N°1 Laura	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		85%	75%	45%	45%	55%	60%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		9	10	8	9	10	9
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		1	0	2	1	0	1
	KPI N°4	Incidentes					
		0	0	1	0	0	1
N°2 Lucas	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		85%	70%	80%	85%	70%	80%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		9	10	8	7	6	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		1	0	2	3	4	4
	KPI N°4	Incidentes					
		0	0	0	1	1	0
N°3 Nancy	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		80%	40%	90%	55%	85%	100%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		8	5	9	9	7	10
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		2	5	1	1	3	0
	KPI N°4	Incidentes					
		2	0	0	1	1	0
N°4 Juan	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		30%	75%	55%	65%	65%	45%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		5	8	4	5	4	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		5	2	6	5	6	4
	KPI N°4	Incidentes					
		4	2	2	1	2	3
N°5 Karen	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		25%	60%	85%	25%	75%	90%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		4	7	7	5	6	8
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		6	3	3	5	4	2
	KPI N°4	Incidentes					
		4	2	1	1	4	2

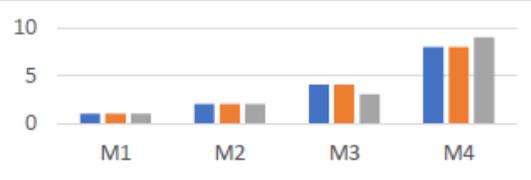
Figura 3.1: Primera tabla de resultados de la simulación del caso principal.

Técnico de Mantenimiento	Periodo						
	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	
N°6 Carlos	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		60%	40%	75%	70%	75%	60%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		4	7	5	8	8	7
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		6	3	5	2	2	3
KPI N°4	Incidentes						
	2	1	1	1	1	0	
N°7 Susana	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		70%	60%	65%	50%	55%	60%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		8	7	5	8	6	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		2	3	5	2	4	4
KPI N°4	Incidentes						
	0	1	1	0	1	2	
N°8 Pedro	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		10%	65%	50%	50%	80%	20%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		2	5	5	4	6	3
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		8	5	5	6	4	7
KPI N°4	Incidentes						
	8	3	4	2	4	3	
N°9 Mateo	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		60%	40%	35%	60%	65%	40%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		6	7	7	7	3	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		4	3	3	3	7	4
KPI N°4	Incidentes						
	1	0	0	0	2	0	
N°10 Lisa	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		25%	45%	20%	65%	35%	20%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		0	3	4	4	5	1
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		10	7	6	6	5	9
KPI N°4	Incidentes						
	7	0	0	5	2	1	

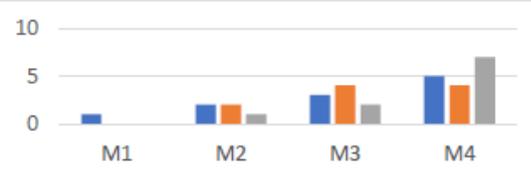
Figura 3.2: Segunda tabla de resultados de la simulación del caso principal.

Variables /	Periodos	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
Total KPI N°2	Éxitos	55	69	62	66	61	62
Total KPI N°3	Errores	45	31	38	34	39	38

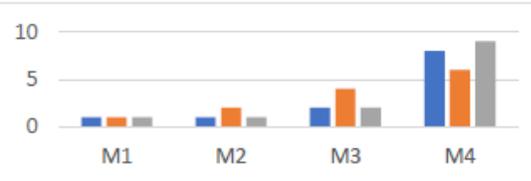
N°1	T1	T2	T3
M1	1	1	1
M2	2	2	2
M3	4	4	3
M4	8	8	9



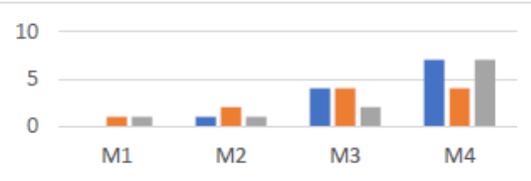
N°2	T1	T2	T3
M1	1	0	0
M2	2	2	1
M3	3	4	2
M4	5	4	7



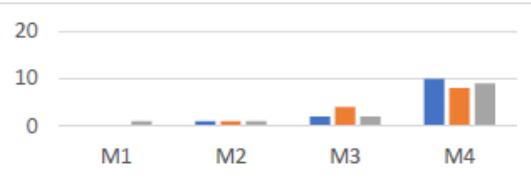
N°3	T1	T2	T3
M1	1	1	1
M2	1	2	1
M3	2	4	2
M4	8	6	9



N°4	T1	T2	T3
M1	0	1	1
M2	1	2	1
M3	4	4	2
M4	7	4	7



N°5	T1	T2	T3
M1	0	0	1
M2	1	1	1
M3	2	4	2
M4	10	8	9



N°6	T1	T2	T3
M1	0	1	0
M2	2	2	2
M3	3	4	4
M4	7	6	7



Figura 3.3: Relación entre mantenimientos fallidos en distintas máquinas (M1, M2, M3, M4) según la tarea de mantenimiento (T1, T2, T3) correspondiente, de la simulación del caso principal.

### 3.2.4. Descripción de los Datos Simulados

Se describirán uno a uno los resultados de cada mantenedor del taller, según las variables medidas (simuladas) durante el periodo de estudio (hipotético).

Para cada gráfico, la escala vertical principal (izquierda) mide el avance porcentual de las tareas programadas (columnas), preventivas y no preventivas, mientras que la secundaria (derecha) contabiliza los mantenimientos exitosos a la primera y los incidentes (líneas con marcadores). No se grafican los mantenimientos fallidos, ya que la línea es similar a la de los éxitos, de acuerdo con como fue definida la variable.

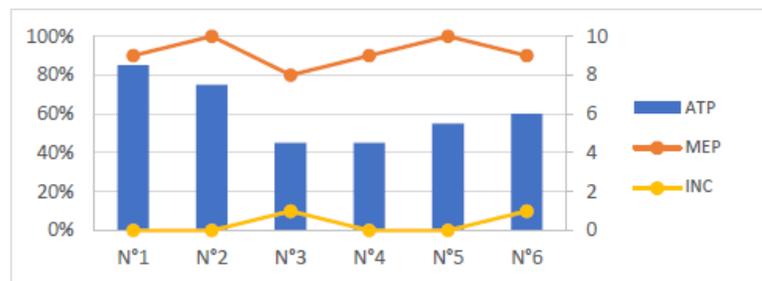


Figura 3.4: N°1 Laura – Gráfico de rendimiento personal.

Laura (rendimiento histórico sobresaliente) tuvo una media de mantenencias exitosas a la primera igual a 9 y de avance de tareas programadas igual a 61 %, con una desviación estándar de 14,8 %; solo tuvo dos incidentes, uno en el tercer periodo y otro en el sexto. Aunque sus mantenencias exitosas son las mejores de la muestra, su desempeño en tareas no preventivas deja que desear, teniendo solo un periodo por sobre el 80 % y luego bajando hasta un 40 %, para mantenerse después alrededor del 60 %, por lo que fue descendiendo su efectividad en tareas no preventivas.

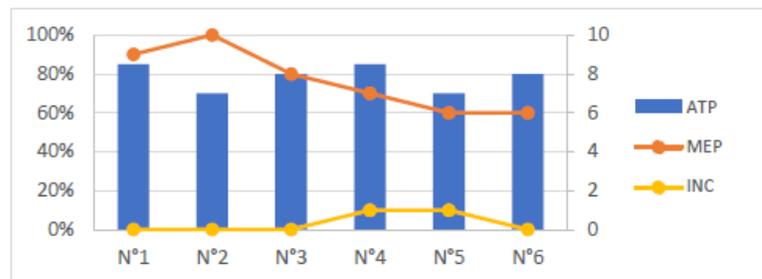


Figura 3.5: N°2 Lucas – Gráfico de rendimiento personal.

Lucas (rendimiento histórico bueno) tuvo un promedio de MEP igual a 8 y de ATP igual a 78 %, con una desviación estándar de 6,2 %; solo tuvo dos incidentes, uno en el cuarto periodo y otro en el quinto. Durante los primeros tres periodos, sus mantenimientos preventivos exitosos son iguales a los de Laura y luego descienden para terminar en 6 éxitos en los últimos dos meses; sin embargo, su avance en tareas programadas es mucho mejor que el de Laura, manteniéndose de forma constante alrededor de 80 % durante todo el estudio, por lo que fue mejorando su cumplimiento de tareas no preventivas.

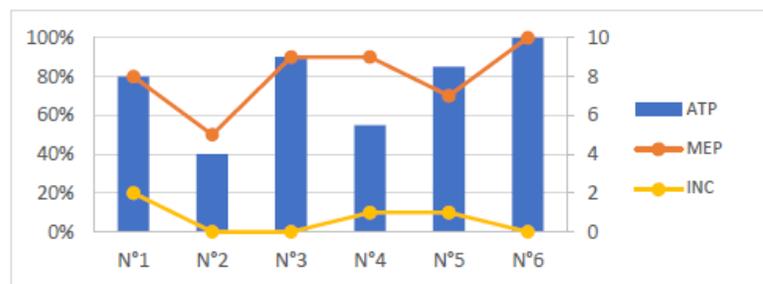


Figura 3.6: N°3 Nancy – Gráfico de rendimiento personal.

Nancy (rendimiento histórico bueno) tuvo una media de MEP igual a 8 y de ATP igual a 75 %, con una desviación estándar de 20,8 %; tuvo dos incidentes en el primer mes, más uno en el cuarto y otro en el quinto. A pesar de tener un buen promedio<sup>20</sup>, los mantenimientos preventivos exitosos de Nancy varían mucho durante el estudio, partiendo bien pero llegando solo a 5 éxitos durante el segundo periodo, luego suben en el tercero hasta el cuarto, para caer nuevamente durante el quinto, logrando el máximo posible durante el último mes; de la misma forma, su cumplimiento con las tareas no preventivas oscila entre extremos.

Juan (rendimiento histórico promedio) tuvo una media de mantenciones exitosas a la primera igual a 5 y de avance de tareas programadas igual a 56 %, con una desviación estándar de 14,8 %; tuvo un INC mensual promedio de 2 y un máximo de 4 incidentes durante el primer periodo. Aparte del segundo mes, donde tuvo su mejor rendimiento, sus mantenciones exitosas son constantemente bajas, lo que conlleva a tener un alto número de incidentes a lo largo del estudio; por otro lado, su avance con las tareas no preventivas es relativamente bueno entre el segundo y el quinto mes, pero malo en el primero y el último.

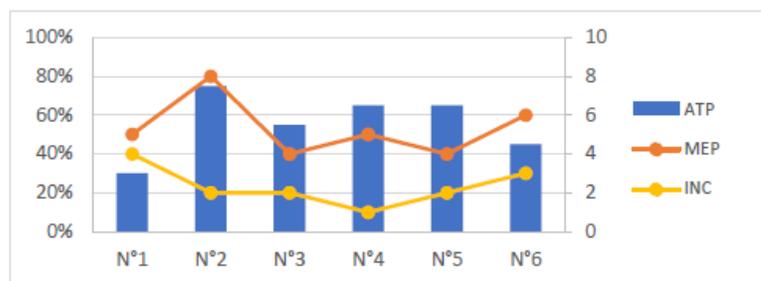


Figura 3.7: N°4 Juan – Gráfico de rendimiento personal.

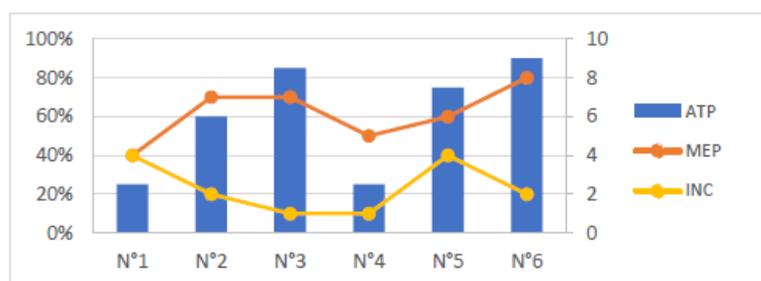


Figura 3.8: N°5 Karen – Gráfico de rendimiento personal.

Karen (rendimiento histórico promedio) tuvo una media de MEP de 6 y de ATP igual a 60 %, con una desviación estándar de 26,5 %; tuvo un INC mensual promedio de 2 y un máximo de 4 incidentes durante el primer y el quinto periodo. Su desempeño en tareas preventivas parte mal, luego es creciente hasta que cae en el cuarto mes y llega a 8 éxitos durante el sexto; su efectividad en tareas programadas sigue la misma tendencia.

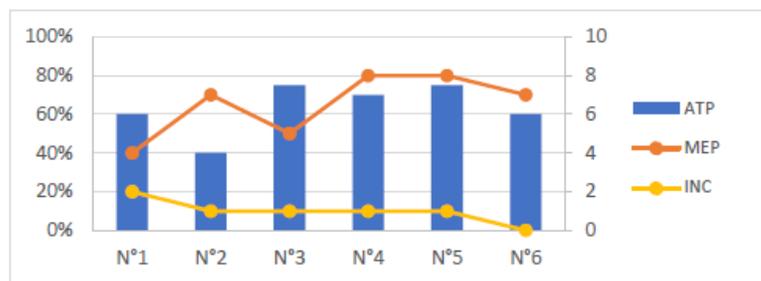


Figura 3.9: N°6 Carlos – Gráfico de rendimiento personal.

Carlos (rendimiento histórico promedio) tuvo una media de mantenciones exitosas a la primera igual a 7 y de avance de tareas programadas igual a 63 %, con una desviación

estándar de 12,1 %; tuvo una media de INC mensual igual a 1 y un máximo de 2 incidentes durante el primer mes. Similar al caso de Karen, Carlos parte débil pero mejora a lo largo del estudio, aumentando su número de mantenimientos exitosos y disminuyendo el de incidentes; su cumplimiento de tareas no preventivas es relativamente bueno pero irregular.

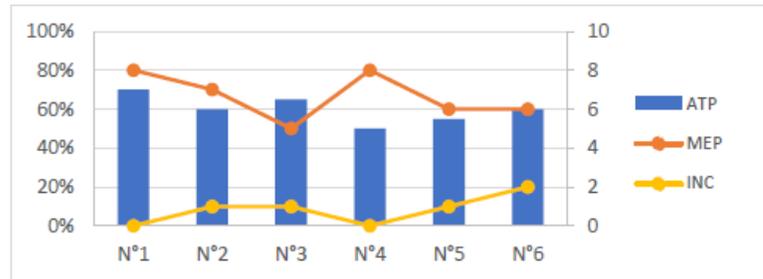


Figura 3.10: N°7 Susana – Gráfico de rendimiento personal.

Susana (rendimiento histórico promedio) tuvo un promedio de MEP igual a 7 y de ATP igual a 60 %, con una desviación estándar de 6,5 %; tuvo en promedio un INC de 1 y un máximo de 2 incidentes durante el sexto mes. Tuvo un rendimiento irregular en mantenencias preventivas durante los seis meses, partiendo bien y luego bajando hasta un mínimo de 5 éxitos a la primera, para luego repuntar y, por último, estabilizarse en 6 éxitos en los últimos dos meses; su cumplimiento de tareas programadas está entre relativamente bueno y aceptable, pero es estable. Al contrario que en el caso del técnico anterior, su número de incidentes aumenta durante el estudio.

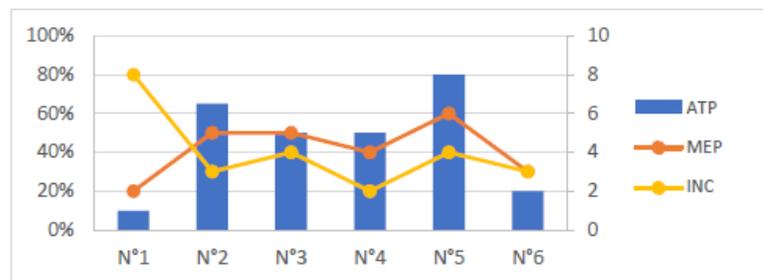


Figura 3.11: N°8 Pedro – Gráfico de rendimiento personal.

Pedro (rendimiento histórico insuficiente) tuvo un promedio de mantenencias exitosas a la primera igual a 4 y de avance de tareas programadas igual a 46 %, con una des-

viación estándar de 24, 2 %; tuvo en promedio 4 incidentes mensuales y un máximo de 8 durante el primer periodo, el mayor registro entre todos los técnicos. Parte con solo dos mantenencias exitosas a la primera, mejorando durante el resto del tiempo, salvo en el último mes; su efectividad en tareas programadas sigue la misma tendencia. El número constante de incidentes de este mantenedor es alarmante, siendo casi idéntico al número de mantenencias exitosas, salvo en el sexto mes, donde son iguales, y en el primero, donde lo supera ampliamente.

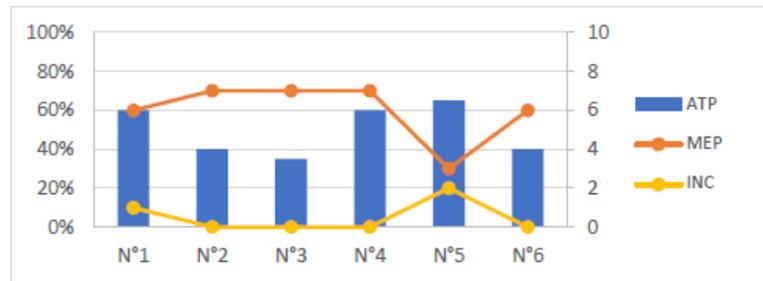


Figura 3.12: N°9 Mateo – Gráfico de rendimiento personal.

Mateo (rendimiento histórico insuficiente) tuvo una media de mantenencias exitosas a la primera igual a 6 y de avance de tareas programadas igual a 50 %, con una desviación estándar de 11, 9 %; tuvo en promedio 1 incidente mensual y un máximo de 2 durante el quinto mes. Salvo por el quinto mes, el número de mantenencias preventivas exitosas de Mateo es relativamente bueno y consistente; al contrario, su efectividad en tareas programadas es irregular y mediocre. A diferencia de Pedro, su número de incidentes es nulo durante la mayoría de los meses, salvo en el quinto, lo que coincide con el mencionado bajo rendimiento en el mismo periodo.

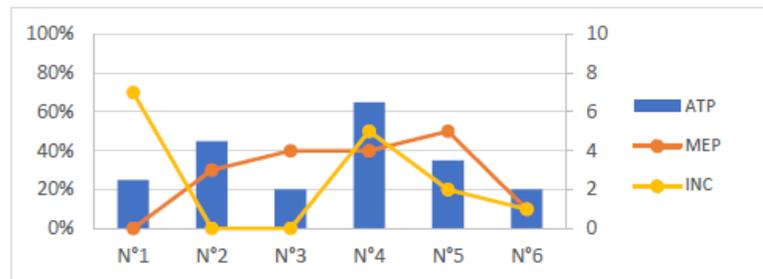


Figura 3.13: N°10 Lisa – Gráfico de rendimiento personal.

Lisa (rendimiento histórico deficiente) tuvo una media de MEP de 3 y de ATP igual a 35 %, con una desviación estándar de 16,1 %; tuvo un INC promedio de 3, un máximo de 7 incidentes durante el primer periodo, similar a Pedro, y otros 5 durante el cuarto mes. Sus mantenciones exitosas son las peores de la muestra, teniendo el peor rendimiento posible durante el primer periodo y, aunque logra mejorar un poco entre el segundo y quinto mes, vuelve a caer durante el último; de la misma forma, su rendimiento en tareas no preventivas es constantemente bajo, excepto en el cuarto mes.

Desde el punto de vista general, con respecto al indicador ATP, los mantenedores tuvieron los siguientes resultados según el periodo de estudio:

- Periodo N°1: Un promedio de 53 % y una desviación estándar de 26,7 %.
- Periodo N°2: Una media de 57 % y una desviación estándar de 13,8 %.
- Periodo N°3: Un promedio de 60 % y una desviación estándar de 21,8 %.
- Periodo N°4: Una media de 57 % y una desviación estándar de 15,4 %.
- Periodo N°5: Un promedio de 66 % y una desviación estándar de 13,9 %.
- Periodo N°6: Una media de 58 % y una desviación estándar de 25,8 %.

Por otro lado, al revisar los gráficos de la figura 3.3, se pueden deducir algunos puntos de interés. Es claro que, en cada periodo, existe mayor cantidad de errores cometidos en la cuarta máquina (M4). No existe mayor diferencia entre las tareas de mantención ni alguna tendencia que resalte, por lo que gran cantidad de errores ocurridos en M4 deben tener relación con la máquina en sí y no con los procedimientos de mantenimiento realizados, sin embargo, para esclarecer esta situación se debe realizar un análisis de causas de estos errores.

De otra forma, si la concentración de errores cometidos se centrara en una tarea en particular en vez de una máquina, se supondría que la causa es el procedimiento de dicha tarea de mantención, aunque también debe realizarse en este caso un RCA.

\* \* \*

Se presentarán a continuación otros casos relevantes, para cubrir escenarios no considerados en la simulación anterior. Estos casos exploran extremos o tendencias que se deben tomar en cuenta. Para esto, se utilizan las mismas variables y software que en

el caso anterior, sin embargo, se le resta importancia al KPI ATP, priorizando los indicadores MEP y INC, y el periodo de estudio considerado es de un año. Esto se debe a que, más que los valores específicos de los KPI, se centra el enfoque en su forma y en los patrones o tendencias que siguen, a diferencia de la simulación principal.

### 3.3. Caso Secundario: Meses Críticos

En esta simulación, se tiene un trabajador que rinde de buena forma durante la gran mayoría del periodo de observación, salvo en un par de meses en los cuales su rendimiento baja de forma considerable. De la simulación, se obtuvieron los resultados presentados en la figura 3.14.

Técnico de Mantenimiento		Periodo											
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12
N°1 Marta	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]											
		35%	40%	40%	35%	85%	85%	80%	80%	60%	60%	65%	35%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)											
		7	7	2	7	7	9	7	8	7	8	8	3
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos											
		3	3	8	3	3	1	3	2	3	2	2	7
	KPI N°4	Incidentes											
		3	2	1	2	2	0	3	1	1	0	2	5

Figura 3.14: Primer caso secundario.

#### 3.3.1. Descripción de los Datos Simulados

De la tabla anterior, se construye el gráfico 3.15 para analizar el comportamiento de Marta, donde la escala vertical mide sus mantenimientos exitosos a la primera (columnas) e incidentes (línea con marcadores).

Marta (rendimiento histórico entre bueno y sobresaliente) tuvo un promedio de MEP igual a 7, tuvo en promedio un INC de 2 mensual y un máximo de 5 incidentes durante el último mes. Su desempeño normal de MEP está entre los mejores, contrastando con el Caso Principal, salvo en dos periodos del tiempo de estudio. En el tercer mes solo cumplió con dos mantenciones exitosas a la primera, mientras que en el duodécimo mes logró tres. Por otro lado, sus incidentes son relativamente bajos, salvo en el último mes, donde se disparan hasta llegar a cinco eventos.

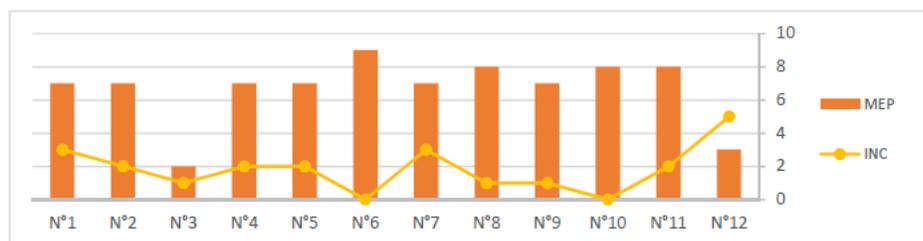


Figura 3.15: N°1 Marta – Gráfico de rendimiento personal.

### 3.4. Caso Secundario: Pendiente Negativa

En este caso, se tiene un mantenedor cuyo rendimiento desciende paulatinamente. De la simulación, se obtuvieron los resultados presentados en la figura 3.16.

Técnico de Mantenimiento	KPI	Periodo											
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12
N°2 Boris	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]											
		50%	65%	55%	40%	55%	45%	60%	30%	45%	35%	65%	35%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)											
		7	6	8	6	5	6	5	4	5	3	3	1
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos											
		3	4	2	4	5	4	5	6	5	7	7	9
	KPI N°4	Incidentes											
		1	2	0	2	4	2	3	2	3	7	1	3

Figura 3.16: Segundo caso secundario.

#### 3.4.1. Descripción de los Datos Simulados

De la tabla anterior, se construye el gráfico 3.17 para analizar el comportamiento de Boris, donde la escala vertical mide sus indicadores MEP (columnas) y INC (línea con marcadores).

Boris (rendimiento histórico entre promedio y bueno) tuvo un promedio de mantenimientos exitosos a la primera igual a 5, tuvo en promedio 3 incidentes mensuales y un máximo de 7 durante el décimo mes. Se observa un descenso paulatino e irregular de su MEP, lo que conlleva un aumento, también gradual, en el indicador INC a lo largo del estudio.

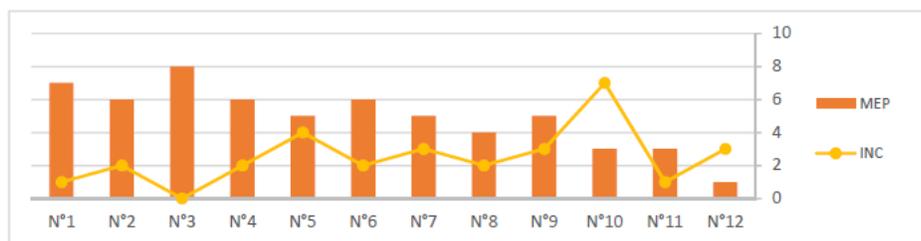


Figura 3.17: N°2 Boris – Gráfico de rendimiento personal.

### 3.5. Caso Secundario: Tendencia Preocupante

En esta simulación, se tiene un técnico de buen rendimiento en general, pero que tiene caídas considerables cada ciertos meses de estudio. De la simulación, se obtuvieron los resultados presentados en la figura 3.18.

Técnico de Mantenimiento	KPI	Periodo											
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12
N°3 Paz	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]											
		55%	60%	65%	60%	65%	90%	70%	55%	50%	55%	20%	50%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)											
		10	8	10	2	10	9	10	1	8	9	2	2
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos											
		0	2	0	8	0	1	0	9	2	1	8	8
	KPI N°4	Incidentes											
		0	1	0	2	0	0	0	5	2	0	5	8

Figura 3.18: Tercer caso secundario.

#### 3.5.1. Descripción de los Datos Simulados

De la tabla anterior, se construye el gráfico 3.19 para analizar el comportamiento de Paz, donde la escala vertical mide sus mantenimientos exitosos a la primera (columnas) e incidentes (línea con marcadores).

Paz (rendimiento histórico sobresaliente) tuvo un promedio de MEP igual a 7, tuvo en promedio un INC de 2 mensual y un máximo de 8 incidentes durante el último mes. Como Marta, su desempeño normal de MEP está entre los mejores, comparando con el Caso Principal, pero este cae de forma repentina cada ciertos meses y manteniéndose así al final del tiempo de estudio. De la misma forma, su número de incidentes es

mínimo, salvo en las caídas del segundo indicador, y sube de forma pronunciada en los últimos dos meses.

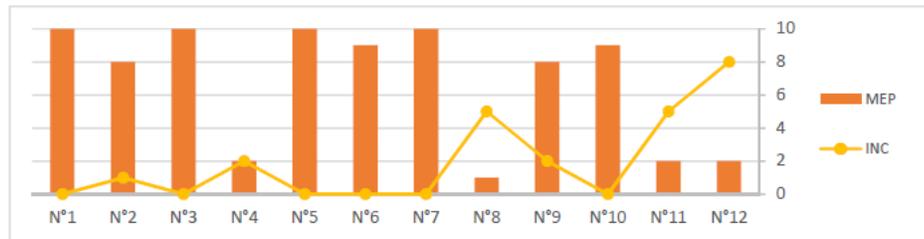


Figura 3.19: N°3 Paz – Gráfico de rendimiento personal.

## Notas

<sup>16</sup>Devuelve un número aleatorio mayor o igual a 0 pero menor que 1.

<sup>17</sup>Devuelve un número entero aleatorio entre los números que se especifiquen.

<sup>18</sup>La media aritmética, llamada comúnmente media, es el promedio de los valores de un conjunto de datos.

<sup>19</sup>La desviación estándar es una medida de la dispersión de los valores de un conjunto de datos, a partir de su media.

<sup>20</sup>Este es un buen ejemplo de porqué el promedio no es un buen indicador de la distribución de una muestra y que se deben incorporar otros elementos, como la desviación estándar.

# Capítulo 4

## Análisis de Simulaciones

Tradicionalmente, cuando se trata de eliminar el error de mantenimiento, la mayoría de los ingenieros tienden a pensar en dos líneas [12]: disciplinar, aconsejar y capacitar al personal involucrado; o escribir un nuevo procedimiento o instrucción de trabajo, para asegurarse de que no vuelva a suceder. Desafortunadamente, el trabajo de los psicólogos del comportamiento indica que ninguno de estos enfoques, por sí solos, es probable que tenga éxito.

Las actividades de mantenimiento pueden ser particularmente provocadoras de errores. Se postula la inutilidad de tratar de cambiar la condición humana, cuando una forma más efectiva de manejar los errores humanos es tratarlos como un aspecto normal, esperado y previsible del trabajo de mantenimiento, y gestionarlos cambiando las condiciones bajo las que se realiza ese trabajo [12].

### **4.1. Seguimiento de KPI de Mantenedores del Caso Principal**

En el capítulo anterior se adelantó el uso de medidas de tendencia central y dispersión. En específico para el caso principal, se analizará el promedio de MEP por mantenedor, como también el promedio y la desviación estándar de su ATP.

El nivel de cumplimiento de estos indicadores, o de los definidos por su organización, depende de lo ya establecido en la entrada del Modelo (2.1.3, página 30). En este caso, se considerará como meta un promedio de ATP igual a 85 %, con una variabilidad baja dada por una desviación estándar de 5 %. Un mantenedor tiene un buen cumplimiento de MEP si se acerca al valor logrado por los de mejor rendimiento histórico, en es-

pecífico, Laura, Lucas y Nancy. La meta del indicador INC mensual promedio es que su valor esté un rango menor o igual a 1 y mayor o igual a cero (no se puede garantizar que nunca ocurran incidentes, pero estos no deberían ocurrir cada mes).

De lo anterior, considerando lo obtenido por la simulación del caso principal, se puede esperar que:

1. Laura, figura 3.4 (página 43), tiene un promedio actual de 9 mantenciones exitosas, por lo que no se espera un rendimiento mucho mejor, siendo 10 el número máximo. Sin embargo, su cumplimiento promedio con las tareas programadas es solo 61 %, con una desviación estándar de 14,8 %. Esta desviación representa la variabilidad de su indicador ATP con respecto a la media, que ya es baja, por lo que su rendimiento global es tanto deficiente como inestable. Por lo anterior, ella debería enfocar sus esfuerzos, primero, en bajar esta variabilidad a márgenes aceptables y, luego, mejorar su rendimiento en las tareas no preventivas, sin descuidar su cumplimiento con las preventivas. Su promedio de incidentes mensual ya es menor a uno.
2. Lucas, figura 3.5, tiene un promedio actual de 8 mantenciones exitosas, por lo que podría mejorar un poco su rendimiento. Su ATP promedio es de 78 %, con una desviación estándar de 6,2 %, por lo que es el mantenedor más cercano a la meta definida, pero aún por debajo de ella. Su promedio de incidentes mensual es menor a 1. Es importante seguir incentivando su desempeño en todas sus tareas programadas, especialmente mejorando las no preventivas, y que minimice su número de incidentes, dentro de lo posible.
3. Nancy, figura 3.6, puede mejorar su desempeño concentrándose principalmente en reducir la variabilidad de sus indicadores, considerando que tiene una media de MEP igual a 8 y un ATP promedio de 75 %, con una alta desviación estándar de 20,8 %. Sus incidentes mensuales promedio son menor que uno, pero mayor que los anteriores (0,7 contra 0,3), por lo que debe reducir a futuro el número de eventos en los que se vea involucrada.
4. Juan, figura 3.7, tiene el mayor potencial de mejora, ya que cumplió mensualmente solo con 5 mantenimientos exitosos a la primera, en promedio, y su cumplimiento de tareas programadas es también bajo, con una media en ATP de 56 % y una desviación estándar de 14,8 %. Principalmente, Juan necesita mejorar su indicador de incidentes, ya que su INC promedio es igual a 2,3, por lo que se recomienda una capacitación de seguridad, en los temas que el análisis adecuado encuentre pertinentes

(uso de herramientas, seguridad de procedimientos, uso de EPP, etc.); aunque también debe recibir ayuda técnica para incrementar sus mantenciones exitosas.

5. Karen, figura 3.8, también debe mejorar su KPI de incidentes, como Juan (igual INC promedio), y la variabilidad de su cumplimiento de tareas preventivas, como Nancy, ya que tiene una alta desviación estándar de 26,5 % con una media de 60 %. Su promedio de mantenciones exitosas es igual a 6. Se recomienda capacitar en cuanto a medidas de seguridad, además de capacitación técnica, ya sea por falta de información o de habilidad por parte de la técnico de mantención, según se determine.
6. En el caso de Carlos y Susana, figuras 3.9 y 3.10, ambos tienen potencial para mejorar su cumplimiento de tareas programadas y disminuir su variabilidad, tanto preventivas como no preventivas; respectivamente, tienen un promedio de ATP igual a 63 % y 60 %, con desviaciones estándar de 12,1 % y 6,5 %. El INC promedio de ambos está al límite de lo aceptable, por lo que deben ser capacitados en materias de seguridad, aunque no con la misma urgencia que los dos mantenedores anteriores. Sus MEP promedios son iguales, de valor 7, por lo que también deben mejorar en ese respecto.
7. Pedro y Lisa, figuras 3.11 y 3.13, tienen los peores rendimientos observados, en el mismo orden: tienen un MEP promedio de 4 y 3, una media de ATP igual a 46 % y 35 %, con desviaciones estándar de 24,2 % y 16,1 %; junto con el mayor número de incidentes registrados, respectivamente, tienen un INC promedio de 4 y 2,5. Ambos, en caso de poder mejorar, necesitarían un apoyo sustancial y por un tiempo mayor que los demás, ya que necesitan intervenciones intensivas tanto en seguridad como en técnica.
8. Mateo, figura 3.12, tiene un promedio bajo en mantenciones exitosas (igual a 6) y de avance de tareas programadas (50 % con desviación de 11,9 %), similar a Pedro, pero su promedio de incidentes es mucho menor (solo 0,5), comparable con el de los mantenedores de mejor rendimiento histórico. Mateo necesita apoyo de capacitaciones técnicas para mejorar su desempeño, pero tiene potencial para convertirse en uno de los mejores mantenedores.

Como se pudo observar, ningún mantenedor cumple con la meta establecida para el promedio y la variabilidad del indicador ATP, mientras que varios técnicos cumplen o se acercan a la meta de MEP y INC. Si bien no es correcto bajar permanentemente una

meta solo para demostrar cumplimiento, hay que evaluar, cada cierto tiempo, la validez de los objetivos establecidos, si aún aplican o si deben ser actualizados.

En el caso simulado, y en otros similares, puede ser beneficioso bajar algunas metas, por ejemplo las de ATP, para los meses que le siguen inmediatamente al periodo de estudio, para luego incrementarlos paulatinamente hasta llegar a la meta deseada. La idea es no desmotivar a los trabajadores con objetivos muy difíciles de cumplir, considerando la situación actual en la que se encuentran.

Con metas iniciales más alcanzables existe mayor motivación para cumplirlas, aunque es importante comunicar desde el principio cuál es la meta final y ser claro con los pasos para llegar a ella.

Por otro lado, al final de la subsección 3.2.4 se incluyó la variación del indicador ATP en su valor promedio, de todos los trabajadores, y su desviación estándar. Es interesante considerar esta información ya que el desempeño de los mantenedores se ve afectado no solo por factores internos, de su persona o relativos a su familia, o del entorno de trabajo de la organización, sino también por otros externos, como pueden ser las estaciones del año, por vacaciones, enfermedades o alergias; fechas festivas, como fiestas patrias o fin de año; procesos laborales, como huelgas sindicales; etc.

Es importante estar pendiente de este tipo de tendencias globales, que pueden pasar de no tener un sentido aparente, sin el contexto adecuado, a resultar evidentes (como el caso de una huelga).

En vista de todo lo anterior, se recomienda:

- Capacitación técnica: por falta de información o de habilidad.
  - Juan, Karen, Carlos, Susana y Mateo.
- Capacitación de seguridad.
  - Nancy, Juan, Karen, Carlos y Susana.
- Por determinar.
  - Pedro y Lisa.

Se espera que, una vez implementadas las medidas de CH adecuadas para cada uno, el rendimiento del personal mejore, tendiendo a cercarse a los rendimientos de una categoría superior, por ejemplo para el ATP, que los trabajadores que tengan un rendimiento

histórico promedio (60 %) se acerquen a (o superen) un rendimiento bueno (75 %), después de un tiempo prudente de ajuste.

Como se mencionó con anterioridad, la GCM [12] no busca mejorar la condición de todo el personal, sino hacer excelentes a las buenas personas. Con esto en mente, se debe decidir, según la cultura y visión de la organización, si se invierte en trabajadores como Pedro y Lisa. Si se tiene una compañía que busca generar un ambiente familiar, como ocurre generalmente con empresas pequeñas y medianas, probablemente se decida incluir en programas de perfeccionamiento a todos los trabajadores que tengan problemas. En cambio, si la organización busca tener y contratar a los mejores del mercado, se inclinará por dejar ir a aquellos que no estén bien evaluados, en favor de contratar gente que pueda adaptarse de mejor forma a su funcionamiento.

\* \* \*

Se presentará a continuación la revisión de los casos secundarios presentados en el capítulo anterior, los que cubren escenarios no considerados en la simulación principal. Más que analizar los valores de sus indicadores, se centra el análisis en otros factores que puedan afectar a los trabajadores.

## **4.2. Caso Secundario: Meses Críticos**

En esta simulación, se tiene un trabajador que rinde de buena forma durante la gran mayoría del periodo de observación, salvo en un par de meses en los cuales su rendimiento baja de forma considerable.

### **4.2.1. Revisión y Recomendaciones**

En el comportamiento exhibido por Marta, figura 3.15 (página 50), el tercer y último periodo se deben a un alto nivel de estrés debido a una situación personal externa al trabajo, debido a gastos excesivos o inesperados que afectan en gran manera su condición económica. Esto puede coincidir con la vuelta a clases de hijos, gastos por festividades como fiestas patrias, Navidad o año nuevo, gastos médicos, entre otros.

Aunque esta situación es de carácter personal, afecta el ámbito profesional de Marta, como es común entre las personas. Por este motivo, se deben buscar formas de apoyar a la trabajadora, ya que esto contribuye a mejorar su estado emocional y su desempeño

profesional; ambas cosas deben ser del interés de la organización.

- Se puede establecer un beneficio monetario para los meses que son complejos para la mayoría de los trabajadores o, de la misma forma, hacer calzar un reconocimiento o bonificación esporádica con estas fechas. Aunque en nuestro país no sea la norma, varios otros consideran el pago de un salario decimotercero<sup>21</sup>, el cual se puede racionar entre estos meses complejos, de forma similar a un aguinaldo.
- Se puede permitir e incentivar el trabajo en horas extras, en el mismo mes o el anterior, para permitir a los trabajadores aumentar su salario. Esto puede utilizarse para realizar mantenciones complejas o mantenimientos durante horas donde no se utilizan ciertos equipos, para reducir el backlog<sup>22</sup> o mejorar el avance de tareas programadas, entre otros.
- Si no es algo establecido o común, se puede permitir que los trabajadores pidan adelantos<sup>23</sup> durante los meses complejos, ya sea en la quincena o algún otro momento.

### **4.3. Caso Secundario: Pendiente Negativa**

En este caso, se tiene un mantenedor cuyo rendimiento desciende paulatinamente con el pasar de los meses.

#### **4.3.1. Revisión y Recomendaciones**

El comportamiento de Boris, figura 3.17, se puede explicar por presiones personales o profesionales, que parten de forma leve pero que aumentan sus efectos con el tiempo, desgastando su estabilidad emocional y afectando su desempeño en el trabajo. A diferencia del caso anterior, este tipo de comportamiento puede y debe ser identificado con antelación ya que, si se alcanzan niveles como el de los últimos tres meses, puede alcanzarse un nivel de estrés crónico, del cual será muy difícil recuperarse para el trabajador. Por lo anterior, tal como con el mantenimiento proactivo de activos, se debe estar pendiente del estado psicológico y físico del personal, para actuar a tiempo y prevenir efectos desastrosos.

- Si se detecta a tiempo que el estado psicológico de un trabajador, o su rendimiento, ha ido en descenso, se debe buscar la forma de que comunique su situación y ayudarlo a expresar o encontrar la causa que lo tiene así. En caso de no ser posible esto en el ambiente laboral y entre conversaciones líder-trabajador o compañeros-trabajador, se debe derivar a un profesional.
- Si la causa de este desempeño es netamente por el ambiente laboral, se debe buscar la forma de mejorar o corregir esta situación.
- Si la causa es personal, se debe facilitar e incentivar que el trabajador tome permisos, licencia o vacaciones adelantadas, para poder resolver la situación que lo tiene en este estado.

## **4.4. Caso Secundario: Tendencia Preocupante**

En esta simulación, se tiene un técnico de buen rendimiento en general, pero que tiene caídas considerables cada ciertos meses.

### **4.4.1. Revisión y Recomendaciones**

El comportamiento de Paz, figura 3.19, es una combinación de los dos anteriores, con meses malos esporádicos y empeorando con el tiempo. Este comportamiento puede ser identificado a tiempo si se presta atención al estado de la mantenedora y al de sus KPI, como en el caso de Boris aunque con mayor dificultad, ya que requiere identificar un patrón en un intervalo mayor de tiempo. Nuevamente, es importante la prevención para que la situación no escale y se vuelva crítica, como en el caso de los últimos dos periodos del gráfico.

Las recomendaciones de este tercer caso secundario son similares a las dos anteriores.

## **Notas**

<sup>21</sup>El salario decimotercero se paga a los empleados de acuerdo con diferentes términos de la ley o contrato de trabajo, de forma adicional al de los doce meses del año. Corresponde a un salario mensual completo y se paga, generalmente, en diciembre.

<sup>22</sup>El backlog es el trabajo planificado que no se alcanzó a realizar en un periodo, por cualquier motivo.

<sup>23</sup>Un adelanto salarial es una instancia donde un trabajador solicita un porcentaje de su sueldo de forma adelantada (antes de la fecha de pago de salarios), a cuenta del trabajo ya realizado durante el periodo actual.

# Capítulo 5

## Conclusiones

El objetivo de esta memoria consistió en generar un documento en forma de manual (anexo A, página 66), que permitiera hacer un puente entre el mantenimiento tradicional y la confiabilidad humana. Para esto, se estudian distintos factores de Mtto y CH, los cuales tienen relaciones entre sí, aunque estas no han sido determinadas de forma cuantitativa o precisa todavía, sino que se requiere mayor investigación. A partir de estos factores, se realizan simulaciones para modelar conductas de trabajadores en un taller de mantenimiento simulado, cubriendo distintos comportamientos comunes reales.

Los resultados de estas simulaciones son analizados, para generar recomendaciones aplicables a situaciones reales, a partir de los comportamientos observados y profundizando sobre el espectro del error humano y cómo controlarlo; identificando patrones donde los haya y promoviendo una actitud proactiva para enfrentarlos.

A partir de esto, se genera un procedimiento estándar para enfrentar errores ocurridos en una organización, especialmente en el área de mantención, en base a un árbol de solución de problemas general, el cual busca evitar la recurrencia de errores ya identificados, abriendo paso para la profundización y reconocimiento de nuevos modos de falla, aportando una forma de mejora continua para el control y limitación de estos, en una escala cada vez mayor.

En base a las simulaciones realizadas, se presentan distintas formas de enfrentar errores humanos, abriendo una dimensión nueva a la labor normal del mantenimiento, enfocado clásicamente solo en activos y procesos. Además de las recomendaciones estándar sobre procedimientos y capacitación, se da énfasis en aceptar el error humano como

algo normal e inevitable, ahondando en la modificación de situaciones, entornos y características físicas de los espacios laborales para enfrentarlo y controlarlo.

Se presenta un plan de implementación, con un cronograma asociado, que explica detalladamente los pasos a seguir para implementar el manual en una organización, desde una sección piloto inicial hasta su expansión al resto de la empresa.

Si bien, este documento se escribió principalmente para una sección de mantención de una empresa productiva, se establecen paralelos y recomendaciones para su implementación en otros rubros.

Además, se comentan formas de incorporar el modelo propuesto con la familia de estándares internacionales ISO 55000 que, si bien su foco es la gestión de activos, posee paralelos con este documento y comparte procesos que pueden beneficiar a la implementación de ambos proyectos.

### **Por investigar**

Se postula la necesidad de validar los resultados esperados de este documento, aplicándolo a empresas que busquen mejorar su gestión del mantenimiento, incorporando elementos de la confiabilidad humana. Junto con esto, se pueden generar bases de datos de errores humanos, para distintos rubros industriales, para contar con un compendio de valores empíricos de referencia que sirvan de guía y punto de comparación para otros modelos y métodos de confiabilidad humana en la industria chilena.

Para complementar el procedimiento y los contenidos expresados en este documento, se postula investigar cómo incorporar los elementos de la familia de normas ISO 9000 al modelo propuesto.

# Bibliografía

- [1] Aalipour, M. et al. (2016). Human reliability assessment (HRA) in maintenance of production process: A case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 7 (pp. 229-238).
- [2] Akyuz, E., Celik, M. (2015). Computer-based human reliability analysis onboard ships. En *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195 (pp. 1823-1832).
- [3] Arteaga, M.J. (2018). Creación de un modelo de gestión de activos centrado en la confiabilidad humana (Memoria de Titulación sin publicar). Santiago, Chile: UTFSM.
- [4] Bell, J., Holroyd, J. (2009). Review of human reliability assessment methods. Health and Safety Laboratory, United Kingdom.
- [5] Bertolini, M., Bevilacqua, M. (2010). Fuzzy cognitive maps for human reliability analysis in production systems. En C. Kahraman & M. Yavuz (Eds.), *Production Engineering and Management under Fuzziness* (Vol. 252, pp. 381-415). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Bolt, H. et al. (2010). Techniques for human reliability evaluation. En Soares, C. (Ed.), *Safety and Reliability of Industrial Products, Systems and Structures*. London, England: Taylor & Francis Group.
- [7] Borris, S. (2006). *Total productive maintenance: Proven strategies and techniques to keep equipment running at maximum efficiency* (1st edition). McGraw-Hill Education.
- [8] Calixto, E. (2016). Human reliability analysis. En *Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis* (2nd edition). Cambridge, MA: Elsevier.

- [9] De Felice, F. et al. (2012). Human reliability analysis: A review of the state of the art.
- [10] Deacon, T. et al. (2013). A framework for human error analysis of offshore evacuations. *Safety Science*, 51 (pp. 319-327).
- [11] Dhillon, B. S. (2006). Maintainability, maintenance, and reliability for engineers (1st edition). Boca Raton, FL: CRC Press.
- [12] Dunn, S. (2008). Managing human error in maintenance. 10.
- [13] Espinoza, M. (2018). Desarrollo exploratorio de modelos de conceptos analíticos de confiabilidad humana (Memoria de Titulación). Valparaíso, Chile: UTFSM.
- [14] Estany, A. (2008). La convergencia de lo cognitivo y lo social en los errores humanos. *Tópicos, Revista de Filosofía*, N°35 (pp. 9-35).
- [15] García, O. (2005). La confiabilidad humana en la gestión del mantenimiento. 13.
- [16] Greco, M. et al. (2013). An exploratory taxonomy of business games. *Simulation & Gaming*, 44 (pp. 645-682).
- [17] Kletz, T. A. (2001). An engineer's view of human error: The theme of this book: Try to change situations, not people (3rd edition). Taylor & Francis [u.a.].
- [18] Konstandinidou, M. et al. (2006). A fuzzy modeling application of CREAM methodology for human reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 91 (pp. 706-716).
- [19] Lees, F. P. (2005). Human factors and human error. En Mannan, S. (3rd edition), *Lee's Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control* (pp. 672-763). Burlington, MA: Elsevier.
- [20] Marchitto, M. (2011). El error humano y la gestión de seguridad: La perspectiva sistémica en las obras de James Reason. *Laboreal*, vol. VII, N°2 (pp. 56-64).

- [21] Mesa, D. et al. (2006, Mayo). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, vol. XII (pp. 155-160).
- [22] Noroozi, A. et al. (2013). The role of human error in risk analysis: Application to pre- and post-maintenance procedures of process facilities. *Reliability Engineering & System Safety*, 119 (pp. 251-258).
- [23] Park, K. S. (1987). Fuzzy apportionment of system reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, 36 (pp. 129-132).
- [24] Sexto, L. (2007). La confiabilidad integral del activo. 8.
- [25] Smith, R., Mobley, R. (2008). Rules of thumb for maintenance and reliability engineers (1st edition). Burlington, MA: Elsevier.
- [26] Spurgin, A. J. (2010). Human reliability assessment: Theory and practice. CRC Press.
- [27] U.S. Department of Defense. (2014). A mishap investigation and data analysis tool.
- [28] Zio, E. et al. (2009). A fuzzy set-based approach for modeling dependence among human errors. *Fuzzy Sets and Systems*, 160 (pp. 1947-1964).
- [29] Basics of failure. (2013). En *Maintenance Basics*. Recuperado de <https://maintenancebasics.wordpress.com/tag/failure-curves>.
- [30] Root cause analysis. (2019). En *Wikipedia*. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Root\\_cause\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Root_cause_analysis).
- [31] This is what makes employees happy at work. (2018, Diciembre). En *The Way We Work*. Recuperado de [https://www.ted.com/talks/michael\\_c\\_bush\\_this\\_is\\_what\\_makes\\_employees\\_happy\\_at\\_work](https://www.ted.com/talks/michael_c_bush_this_is_what_makes_employees_happy_at_work).

# **Anexo A**

## **Manual de Confiabilidad Humana**

El modelo propuesto para la implementación de este documento propone el uso de un juego de negocios en forma de una simulación de datos de mantención, específicamente relacionados con el desempeño del elemento humano en una organización productiva hipotética, aunque basados u obtenidos a partir de los KPI clásicos del mantenimiento.

Se hará uso de esta situación simulada para enseñar el procedimiento propuesto en el manual, como una guía general a seguir, con ejemplos comunes y específicos que sean fáciles de extrapolar a un caso real, a partir de los cuales se realiza un análisis, se toman decisiones y se implementan medidas correctivas de confiabilidad humana, de igual forma a como se implementarían en el caso real.

### **A.1. Contexto Organizacional**

Independiente de la razón para incorporar la confiabilidad humana en su organización, ya sea una directiva de la gerencia, una propuesta del jefe de mantención u otra, el procedimiento a seguir es similar al de otras metodologías. Sin embargo, es difícil juzgar la viabilidad de un proyecto sin tener resultados. En primera instancia, el modelo busca ser implementado en un número limitado de secciones del área productiva, generalmente una para empezar. La idea es comenzar con una sección que no sea crítica para la línea de producción pero que sea importante, de esta forma no se compromete en gran medida a toda la organización, pero los resultados conseguidos tendrán peso para luego convencer de la implementación del modelo al resto de la organización. En primer lugar, se debe contar con un diagnóstico de la situación actual de la empresa,

mediante la recolección de datos empíricos del quehacer interno de la organización, específicamente de la labor de mantención. Se necesitan mediciones de los indicadores que siguen el cumplimiento de las metas del equipo de mantención, como los indicadores de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad.

Se asume que la organización ya posee un sistema de mantenimiento planificado parcial o totalmente implementado, donde se realicen, al menos, mantenciones planificadas preventivas y análisis de causa raíz de los modos de falla más comunes. Para más información sobre el mantenimiento planificado, consultar la subsección 1.2 (página 6).

Del diagnóstico inicial, se determinan los nuevos indicadores que registrarán las situaciones influenciadas por la intervención humana, para medir y analizar dichos indicadores, y corregir o prevenir dichas situaciones. Este proceso no debería tomar más de dos semanas, tras lo cual se deben empezar a generar los primeros registros.

Los KPI utilizados en la simulación serán los siguientes: avance de tareas programadas (ATP), mantenimientos exitosos a la primera (MEP), mantenimientos fallidos (MF) e incidentes (INC).

Los KPI aquí propuestos no tienen por qué ser los que el lector incorpore en su gestión. Cada organización y grupo de trabajo debe establecer sus propios objetivos, el nivel de cumplimiento a lograr y la forma de conseguirlo, como también el modo en que se les dará seguimiento a los indicadores.

Una vez elegida la sección piloto, determinados los objetivos que se buscan conseguir y cómo hacerles seguimiento, mediante ciertos indicadores de desempeño, se debe establecer un periodo de tiempo de estudio. Durante este tiempo, se registrarán los datos actuales y reales de la organización, que denotan la situación presente en la que se encuentra en relación con los nuevos KPI determinados. Dependerá de cada organización determinar cuánto tiempo durará su estudio, podría ser desde un par de meses hasta un año, lo importante es generar suficientes datos para comenzar el análisis, identificación, categorización y control del error humano. Para la simulación, que representa el periodo de estudio de alguna empresa productiva ficticia, se establece un periodo de seis meses durante el cual se estudiarán los cuatro indicadores antes descritos, para diez técnicos mantenedores.

Los resultados simulados serán presentados en forma de tablas en la siguiente sección. Para diferenciar a cada mantenedor y poder analizar distintos casos en la misma si-

mulación, se les asignará un rendimiento promedio y un rango de variabilidad para el indicador MEP. El ATP consiste en la suma del MEP y un valor aleatorio. Los MF dependen directamente de los mantenimientos exitosos. Se establece para este manual que solo pueden ocurrir incidentes en mantenimientos fallidos, por lo que el INC depende de MF y de un porcentaje aleatorio (probabilidad) que lo multiplica.

Para cada caso, se analizará el desempeño simulado de estos técnicos, se discutirá su cumplimiento con los objetivos propuestos, si existe algún patrón durante el estudio y se darán recomendaciones basadas en la confiabilidad humana.

Nótese que los datos de esta simulación no tienen por qué coincidir con los registrados en su empresa, incluso si el lector elige controlar los mismos indicadores aquí propuestos. La idea es familiarizar al lector con el procedimiento que el modelo propone, tras la recolección de datos, pasando por el análisis de estos y terminando con la implementación de medidas de confiabilidad humana, que controlen la ocurrencia y limiten la recurrencia de errores humanos.

Para reflejar otros casos que no puedan ser observados en la simulación anterior, ya sea por falta de suficientes registros, por comportamientos ocultos en los datos (distribuciones multimodales), entre otros; se realizará una simulación de casos secundarios, junto con su análisis correspondiente, que reflejen patrones de comportamiento marcados, sobre un tiempo de estudio mayor, con tal de realizar otras recomendaciones sobre estas situaciones.

## **A.2. Resultados y Análisis**

Del periodo de estudio, o en este caso, de la simulación de datos, se obtienen los registros de los KPI controlados. Estos resultados se presentan en las tablas anexadas (Anexo B, página 97). Para más información sobre las variables seleccionadas y cómo fueron simuladas, consultar la subsección 3.2.1 (página 36).

### **A.2.1. Resultados**

Se describirán a continuación los casos más destacados de la simulación. Se presentará el desempeño de estos trabajadores en forma gráfica, donde la escala vertical

principal (izquierda) mide el avance porcentual de las tareas programadas (columnas), preventivas y no preventivas, mientras que la secundaria (derecha) contabiliza los mantenimientos exitosos a la primera y los incidentes (líneas con marcadores). No se grafican los mantenimientos fallidos, ya que la línea es similar a la de los éxitos, de acuerdo con como fue definida la variable. Para el resto de los casos, consultar la subsección 3.2.4 (página 43).

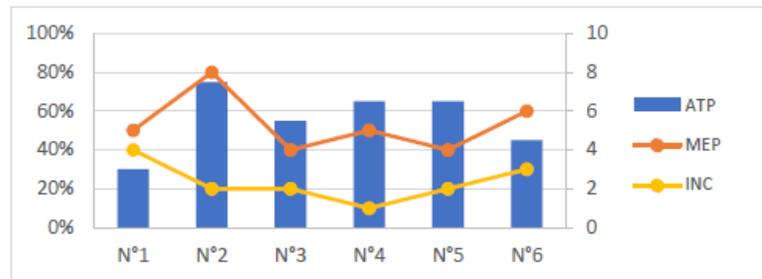


Figura A.1: N°4 Juan – Gráfico de rendimiento personal.

Juan (rendimiento histórico promedio) tuvo una media de mantenciones exitosas a la primera igual a 5 y de avance de tareas programadas igual a 56 %, con una desviación estándar de 14,8 %; tuvo un INC mensual promedio de 2 y un máximo de 4 incidentes durante el primer periodo. Aparte del segundo mes, donde tuvo su mejor rendimiento, sus mantenciones exitosas son constantemente bajas, lo que conlleva a tener un alto número de incidentes a lo largo del estudio; por otro lado, su avance con las tareas no preventivas es relativamente bueno entre el segundo y el quinto mes, pero malo en el primero y el último.

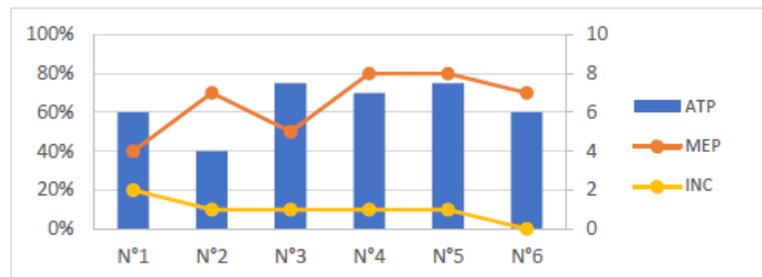


Figura A.2: N°6 Carlos – Gráfico de rendimiento personal.

Carlos (rendimiento histórico promedio) tuvo una media de mantenciones exitosas a la

primera igual a 7 y de avance de tareas programadas igual a 63 %, con una desviación estándar de 12,1 %; tuvo una media de INC mensual igual a 1 y un máximo de 2 incidentes durante el primer mes. Similar al caso de Karen, Carlos parte débil pero mejora a lo largo del estudio, aumentando su número de mantenimientos exitosos y disminuyendo el de incidentes; su cumplimiento de tareas no preventivas es relativamente bueno pero irregular.

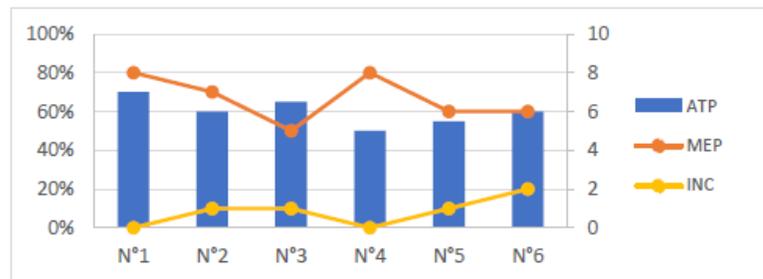


Figura A.3: N°7 Susana – Gráfico de rendimiento personal.

Susana (rendimiento histórico promedio) tuvo un promedio de MEP igual a 7 y de ATP igual a 60 %, con una desviación estándar de 6,5 %; tuvo en promedio un INC de 1 y un máximo de 2 incidentes durante el sexto mes. Tuvo un rendimiento irregular en mantenciones preventivas durante los seis meses, partiendo bien y luego bajando hasta un mínimo de 5 éxitos a la primera, para luego repuntar y, por último, estabilizarse en 6 éxitos en los últimos dos meses; su cumplimiento de tareas programadas está entre relativamente bueno y aceptable, pero es estable. Al contrario que en el caso del técnico anterior, su número de incidentes aumenta durante el estudio.

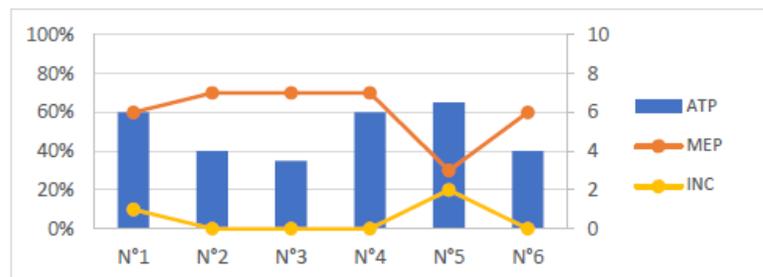


Figura A.4: N°9 Mateo – Gráfico de rendimiento personal.

Mateo (rendimiento histórico insuficiente) tuvo una media de mantenciones exitosas

a la primera igual a 6 y de avance de tareas programadas igual a 50 %, con una desviación estándar de 11,9 %; tuvo en promedio 1 incidente mensual y un máximo de 2 durante el quinto mes. Salvo por el quinto mes, el número de mantenciones preventivas exitosas de Mateo es relativamente bueno y consistente; al contrario, su efectividad en tareas programadas es irregular y mediocre. Su número de incidentes es nulo durante la mayoría de los meses, salvo en el quinto, lo que coincide con el mencionado bajo rendimiento en el mismo periodo.

Por otro lado, al revisar los gráficos de la figura B.3, se pueden observar algunos puntos de interés. Es claro que, en cada periodo, existe mayor cantidad de errores cometidos en la cuarta máquina (M4). No existe mayor diferencia entre las tareas de mantención ni alguna tendencia que resalte, por lo que gran cantidad de errores ocurridos en M4 deben tener relación con la máquina en sí y no con los procedimientos de mantenimiento realizados, sin embargo, para esclarecer esta situación se debe realizar un análisis de causas de estos errores.

De otra forma, si la concentración de errores cometidos se centrara en una tarea en particular en vez de una máquina, se supondría que la causa es el procedimiento de dicha tarea de mantención, aunque también debe realizarse en este caso un análisis de causa raíz.

Fuera de los casos recién presentados, denominados 'caso principal', existen otros sucesos de interés no considerados aún, denominados 'casos secundarios'. Se utilizan las mismas variables que en el caso anterior, sin embargo, se le resta importancia al KPI ATP, priorizando los indicadores MEP y INC, y el periodo de estudio considerado es de un año. Esto se debe a que, más que los valores específicos de los KPI, se centra el enfoque en su forma y en los patrones o tendencias que siguen, a diferencia de la simulación principal. Se presentará a continuación uno de estos casos, para el resto consultar las secciones 3.3 y 3.5 (páginas 49 y 51, respectivamente).

Este caso secundario es denominado 'pendiente negativa', debido a que se tiene un mantenedor cuyo rendimiento desciende paulatinamente. Se incluye a continuación el gráfico del caso, en base a la tabla B.4, donde la escala vertical mide sus mantenimientos exitosos a la primera (columnas) e incidentes (línea con marcadores).

Boris (rendimiento histórico entre promedio y bueno) tuvo un promedio de mantenciones exitosas a la primera igual a 5, tuvo en promedio 3 incidentes mensuales y un máximo de 7 durante el décimo mes. Se observa un descenso paulatino e irregular de

su MEP, lo que conlleva un aumento, también gradual, en el indicador INC a lo largo del estudio.

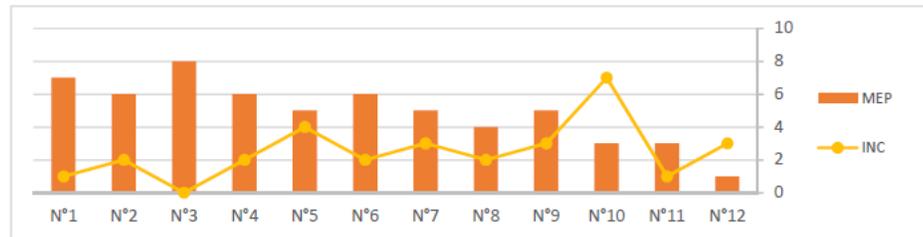


Figura A.5: N°2 Boris – Gráfico de rendimiento personal.

### A.2.2. Análisis

Luego del periodo de estudio, se debe comenzar con el análisis de los datos recopilados y de los errores registrados. Se recurre al análisis de criticidad, para determinar los problemas de mayor importancia o frecuencia. Luego, se analizan las causas raíz de los errores críticos, determinando si su naturaleza es de avería, humana, seguridad, procedimiento, etc.

A continuación, se realiza el análisis de casos de los técnicos previamente seleccionados de la simulación principal. Para el resto de los casos, consultar la subsección 4.1 (página 53).

1. Juan, figura A.1, tiene el mayor potencial de mejora, ya que cumplió mensualmente con solo 5 mantenimientos exitosos a la primera, en promedio, y su cumplimiento de tareas programadas es también bajo, con una media en ATP de 56 % y una desviación estándar de 14,8 %. Principalmente, Juan necesita mejorar su indicador de incidentes, ya que su INC promedio es igual a 2,3, por lo que se recomienda una capacitación de seguridad, en los temas que el análisis adecuado encuentre pertinentes (uso de herramientas, seguridad de procedimientos, uso de EPP, etc.); aunque también debe recibir ayuda técnica para incrementar sus mantenciones exitosas.
2. En el caso de Carlos y Susana, figuras A.2 y A.3, ambos tienen potencial para mejorar su cumplimiento de tareas programadas y disminuir su variabilidad,

tanto preventivas como no preventivas; respectivamente, tienen un promedio de ATP igual a 63 % y 60 %, con desviaciones estándar de 12,1 % y 6,5 %. El INC promedio de ambos está al límite de lo aceptable, por lo que deben ser capacitados en materias de seguridad, aunque no con la misma urgencia que Juan. Sus MEP promedios son iguales, de valor 7, por lo que también deben mejorar en ese respecto.

3. Mateo, figura A.4, tiene un promedio bajo en mantenciones exitosas (igual a 6) y en avance de tareas programadas (50 % con desviación de 11,9 %). Su promedio de incidentes es bajo (solo 0,5), comparable con el de los mantenedores de mejor rendimiento histórico. Mateo necesita apoyo de capacitaciones técnicas para mejorar su desempeño, pero tiene potencial para convertirse en uno de los mejores mantenedores.

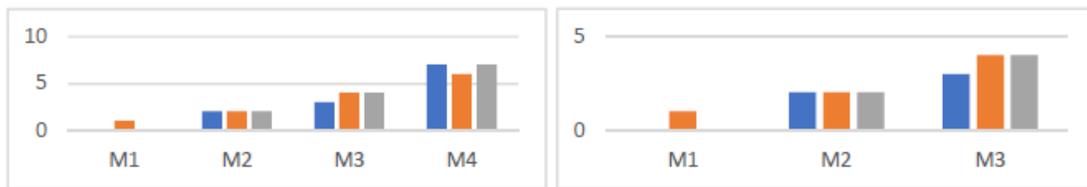


Figura A.6: Comparación del histograma del sexto periodo de la figura B.3, antes y después de resolver el error principal de la máquina M4.

Sobre la figura B.3, se determina analizar la situación de M4, ya que presenta de forma consistente el mayor aporte de mantenciones fallidas, para cualquier tarea preventiva en todos los periodos, tomando en cuenta las posibles causas que tienen por raíz los errores humanos técnicos o inadvertidos. Para esto, utilizar alguno de los métodos presentados en la subsección 1.5.1 (página 21).

Una vez que se identifica y resuelve un error, y se toman medidas para evitar su repetición, su frecuencia en el histograma baja considerablemente. Esto permite reevaluar la criticidad de otros errores en la misma muestra, ya sea eliminando el error resuelto en el histograma del periodo de estudio, como se observa en la figura A.6, o generando nuevos registros. Esto puede mostrar que existía más de un error detrás del registro obtenido (estratificación), el que debe ser identificado y resuelto, o que en la nueva situación existe otro error dominante que debe ser solucionado.

Se presentará a continuación la revisión del caso secundario presentado en la sección

anterior. Más que analizar los valores de sus indicadores, se centra el análisis en la forma y tendencia del gráfico, y en otros factores que puedan afectar al trabajador.

El comportamiento de Boris, figura A.5, se puede explicar por presiones personales o profesionales, que parten de forma leve pero que aumentan sus efectos con el tiempo, desgastando su estabilidad emocional y afectando su desempeño en el trabajo. Este tipo de comportamiento puede y debe ser identificado con antelación ya que, si se alcanzan niveles como el de los últimos tres meses, puede alcanzarse un nivel de estrés crónico, del cual será muy difícil recuperarse para el trabajador. Por lo anterior, tal como en el mantenimiento proactivo de activos, se debe estar pendiente del estado psicológico y físico del personal, para actuar a tiempo y prevenir efectos desastrosos.

- Si se detecta a tiempo que el estado psicológico de un trabajador, o su rendimiento, ha ido en un descenso prolongado, se debe buscar la forma de que comunique su situación y ayudarlo a expresar o encontrar la causa que lo tiene así. En caso de no ser posible esto en el ambiente laboral y entre conversaciones líder-trabajador o compañeros-trabajador, se debe derivar a un profesional de la salud.
- Si la causa de este desempeño es netamente por el ambiente laboral, se debe buscar la forma de modificar, mejorar o corregir esta situación.
- Si la causa es personal, se debe facilitar e incentivar que el trabajador tome permisos, licencia o vacaciones adelantadas, para poder resolver la situación que lo tiene en este estado.

### **A.3. Solución de Errores y Medidas de Confiabilidad Humana**

Si un activo no se mantiene, fallará eventualmente. Si falla y no se puede reparar a tiempo, afectará al resto de la línea productiva, de lo que surge la pregunta: ¿pueden las demás máquinas suplir su ausencia? Si es así, ¿por cuánto tiempo? Si no se cuenta con una configuración con redundancia en la línea, el nuevo requerimiento productivo causará una sobre exigencia, lo que puede acelerar el deterioro del resto de las máquinas y aumenta su necesidad de mantención.

De la misma forma, el mantenimiento psicológico del personal es importante y su negligencia puede tener graves consecuencias, que pueden ramificarse y afectar distintas

áreas de la organización; por poner algunos ejemplos: peleas entre empleados, rendimientos bajos, accidentes, entre otros.

Por lo anterior, es tan importante mantener los activos como a las personas de la organización, es decir, asegurarse y tomar medidas para que los trabajadores tengan un buen estado mental y físico. Para esto, se deben corregir las situaciones y condiciones del entorno que los afectan, mejorando el diseño del lugar de trabajo y los activos de la organización, para una mejor operación y mantención. Además, a diferencia de una máquina con problemas que espera ser reparada, un trabajador que está pasando por problemas pero quiere mejorar, si se le da la oportunidad y las herramientas para lograrlo, podrá incrementar de forma permanente, no solo su rendimiento, sino también su motivación y compromiso para con su trabajo.

### **A.3.1. Errores y Causas**

No se pueden analizar ni solucionar todos los problemas o fallas al mismo tiempo, por lo que se debe emplear el análisis de criticidad para identificar los errores que tienen un mayor efecto o la peor consecuencia potencial. Luego de la selección, se realiza el análisis de causa raíz, para determinar la naturaleza primordial de la falla. Esto es un procedimiento común en el marco del mantenimiento planificado, sin embargo, en esta ocasión se discutirán exclusivamente las causas esenciales que tienen relación con el elemento humano, de forma directa (causada por) o indirecta (que lo afecta).

Cabe mencionar que para el comportamiento humano, a diferencia del análisis de datos clásicos de mantención, solo se cuenta con comportamientos particulares o individuales, sin embargo, estos reflejan patrones que pueden ser estudiados e interpretados para obtener recomendaciones adecuadas que contribuyan a mejorar los comportamientos observados.

Retomando el caso de la figura B.3, al reducir los errores cometidos en una máquina y evitar que estos se vuelvan a repetir, no solo se están mejorando los indicadores de esa máquina, de su sección y de Producción, sino también se mejoran los KPI de Mantención, ya que disminuyen los errores cometidos por mantenedores, por lo que aumentan las mantenciones exitosas a la primera, disminuyendo la probabilidad de incidentes e incrementando el avance en tareas programadas.

Los errores técnicos e inadvertidos se deben enfrentar de la siguiente manera:

## 1. Errores técnicos

### a) Falta de información

- El reporte erróneo de una falla puede ser tan malo como la falla misma, como ocurre comúnmente en la implementación temprana del MP. Esto puede causar la mala utilización de recursos, que se realice un procedimiento equívoco o una demora que cause que el error se intensifique. Para evitar esto, todo trabajador debe estar al tanto de cómo generar un buen registro, comprender cómo su aporte de información contribuye en la identificación y solución de lo ocurrido, y entender las categorías y campos que debe llenar en su reporte. Es recomendable que los trabajadores, en su desarrollo cotidiano de actividades, puedan aportar al sistema, con sugerencias de mejora, inclusión de campos no considerados y corrección de los existentes.
- Si la condición normal de un activo o sección cambia, todos los actores interesados y quienes se ven afectados por esta modificación deben ser notificados, y deben hallarse medidas para adaptarse a la nueva condición. Esto implica, si es necesario, redefinir el lugar necesario para la operación (demarcación de su espacio), cambiar los procedimientos de operación y mantenimiento, replantear las precauciones y medidas de seguridad, etc.
- Por otro lado, si cambia el procedimiento de una tarea de mantenimiento, se deben enseñar los nuevos pasos a seguir. Es conveniente informar el porqué del cambio, para que los trabajadores lo puedan interiorizar de mejor forma y no lo vean como un cambio vacío o sin justificación.
- Todo trabajador debe ser capaz de realizar la tarea que se le encomienda, en caso contrario, no se puede realizar. Tener un conocimiento y dominio completo del procedimiento a realizar es el primer indicador de la capacidad del mantenedor. Por esta razón, es imperativo que los técnicos estén al día de cualquier cambio que ocurra con sus procedimientos, es más, ellos deberían proponer cambios y participar de forma activa en su modificación.
- Siguiendo la misma línea, es obligatorio que los técnicos nuevos reciban una capacitación integral. Esto incluye, pero no se limita a, la inducción de seguridad general de la planta u organización, la inducción particular de ciertos equipos o secciones, los sistemas y programas que se usan a diario, sus beneficios y obligaciones, a quién responder o acudir para distintas necesidades, la organización del grupo de personas con las que trabajará, etc. El objetivo

es que, en corto tiempo, el nuevo mantenedor se sienta parte de su grupo de trabajo y no tenga vacíos de conocimiento.

b) Falta de habilidad

- Un técnico puede haber recibido la instrucción de cómo realizar una tarea, pero fallar de todas formas al intentar realizarla. Para las tareas complejas, no basta el conocimiento teórico, sino que el aprendizaje va en realizar de forma exitosa el procedimiento en forma previa, ya sea en una simulación o ensayo, observando de primera fuente como otro mantenedor experimentado realiza la tarea, asistiendo en la realización de esta, etc. Por esto, los procesos de capacitación deben ser vistos no solo como un periodo de clases mediante diapositivas, sino como una experiencia más completa, que no solo expone cómo hacer algo, sino que enseña y garantiza la interiorización de cómo realizar un procedimiento.
- No solo puede haber problemas con el procedimiento de una tarea, sino también con las herramientas utilizadas en él. Por ejemplo, para el uso de un puente grúa no basta con estar familiarizado con su control remoto, también se debe tener una percepción clara para moverlo sin tocar nada más; al desmontar una parte de una máquina, se debe trabajar con llaves y atornilladores adecuados, y si un tornillo está agarrotado, se debe aplicar alguna técnica que permita su extracción sin tener que realizar sobreesfuerzos por parte del mantenedor. Junto con la capacitación de un procedimiento de mantención, se debe enseñar las características específicas de las distintas herramientas empleadas en la tarea y cómo utilizarlas.

2. Errores inadvertidos

a) Vacíos mentales

- Olvidar parte del procedimiento puede ocurrir porque el mantenedor está distraído o preocupado por otra situación, no domina el procedimiento de forma suficiente o existen factores distractores en el lugar de trabajo. Si el técnico comete un error por estar distraído por una situación personal, no debería haber sido elegido para realizar la tarea en primer lugar, ya que no cumple con el segundo criterio de capacidad; y si no domina el procedimiento a seguir, no cumple con el primero. Si existen distintos estímulos que impiden la concentración donde se realiza el mantenimiento, se debe modificar el cómo

se desarrolla la tarea, el espacio mismo o algunas de sus características. Por ejemplo, si existe ruido excesivo, el operador debe usar protección y aislamiento auditiva; si el área de trabajo está sucia o desordenada, se debe proceder según el estándar de la organización para limpiar y ordenar; si existe una mala o excesiva iluminación, se debe corregir esta situación; etc.

b) Falta de atención

- Ante el caso en que la falta de atención del técnico haga que se salte una parte del procedimiento, deberían existir puntos dentro del mismo procedimiento donde se deba revisar, en breve, si se ha cumplido de buena forma con todos los pasos previos, evitando así problemas mayores que pueden producir daño a la máquina o que esta quede inoperativa, resultando comúnmente en la realización de procedimientos innecesarios o que pudieron ser evitados, como un nuevo estudio de causas y otras mantenciones.

c) Exceso de confianza

- El exceso de confianza puede llevar a un técnico a una mala realización de tareas. Esto no es sencillo de detectar en una primera instancia, pero debería resaltar en la repetición. Cuando esto ocurre, es porque el trabajador, inconscientemente, determina que ciertos pasos son una pérdida de tiempo. Asumiendo que todos los procedimientos están bien hechos, considerando todos los pasos relevantes y ninguno de sobra, entonces es necesario hacerle ver al mantenedor porqué se equivoca al creer que ciertos pasos no tienen importancia, que se dé cuenta de lo que hizo de forma inconsciente para que pueda mejorar de forma consciente.

### **A.3.2. Violaciones**

Ante violaciones o errores conscientes en tareas de mantenimiento, se debe tener y aplicar una política clara. Una persona comete una acción indebida conscientemente cuando el riesgo de ser descubierto es bajo, cuando el castigo por ser descubierto es menor a la ganancia (terminar antes, realizar el mínimo esfuerzo, etc.) o una combinación de ambos. Por esto, el castigo ante una violación debe ser severo y deben existir formas no invasivas de monitorear el desempeño del personal.

Para esclarecer qué tipos de comportamientos no son aceptables, cada procedimiento debe establecer claramente lo que se debe y no hacer, como también las herramientas

y elementos de protección personal (EPP) que se deben utilizar. El incumplimiento de cualquiera de estas instrucciones debe estar sujeto a castigo, ya sea con retiro de bonos, castigo de salario, despido, entre otros, según la gravedad de la falta.

Esto podría parecerle una exageración, pero si un trabajador se rehúsa a cumplir con estas instrucciones, puede estar poniendo en peligro su salud, la de sus compañeros, la integridad de activos y la reputación de su organización. Por ejemplo, un técnico que trabaje en altura y no use su EPP, puede caer y causar una cadena de accidentes: puede resultar herido o morir, puede caer sobre personas o equipos y dañarlos, su caída puede mover o desmoronar otros objetos, etc.

### **A.3.3. Problemas de Seguridad**

Siempre se debe tener en cuenta la seguridad de personas y activos.

- En caso de que exista un cambio en la condición actual de una máquina, se debe revisar las medidas de seguridad que estaban en efecto, ver si aplican a la nueva situación y si se pueden renovar, para adaptarse de mejor forma a los nuevos requerimientos.
- Al cambiar un procedimiento de una tarea de mantenimiento, se deben actualizar también las medidas de seguridad correspondientes.
- Dominar un procedimiento no solo implica realizar de buena forma cada paso, sino también tomar todas las precauciones pertinentes en su desarrollo.
- Ciertas herramientas o equipos tienen sus particularidades propias, incluyendo cuidados y precauciones específicos que deben ser tomados en cuenta en su indicación de uso y operación.
- El exceso de confianza puede causar que se ignoren ciertos procedimientos de seguridad. También en este caso se debe resaltar el porqué de su inclusión, con tal de eliminar la ceguera cognitiva y permitir la mejora consciente.

### **A.3.4. Condicionar el Lugar de Trabajo**

Si se cometen errores debido al diseño de máquinas o su entorno, se debe modificar la condición actual para facilitar la realización de tareas de mantención y reducir la probabilidad del error humano.

## 1. Factores antropométricos

- Si el tamaño de una máquina causa problemas a trabajadores por su estatura, se pueden instalar escalones en las zonas donde sea necesario, para cumplir con el procedimiento.
- Si es necesario levantar o mover una parte pesada de una máquina, podría ser realizado por más de un mantenedor o con ayuda de herramientas, como un sistema de poleas o un puente grúa.

## 2. Factores sensoriales

- Se deben considerar y aprovechar las capacidades de percepción del personal, colocando luces, alertas, indicadores, pantallas, botones, entre otros, donde se les pueda dar mejor uso.
- Como se mencionó anteriormente, no se debe sobre estimular a los trabajadores con luces y sonidos, ya que pueden distraer, incomodar o molestar.

## 3. Factores fisiológicos

- Se refiere a la condición del entorno donde se realiza el trabajo, como la temperatura, ventilación y la exposición a los elementos. Se debe limitar la capacidad del entorno para contribuir con distractores adicionales a la función del mantenedor.

## 4. Factores psicológicos

- Como ya se ha discutido, un trabajador que no se sienta bien para realizar una tarea, no debería realizarla. Si esto continua, puede que haya una razón psicológica o inconsciente para explicar este rechazo hacia la tarea, lo que debe explorarse con métodos adecuados. Es común ver en distintas organizaciones lugares para distraerse durante descansos o la hora de almuerzo, como mesas de ping-pong o taca-taca, como también existen organizaciones que ofrecen sesiones periódicas de masajes a sus trabajadores. De la misma forma que estas medidas buscan apoyar físicamente a los trabajadores, se deben implementar formas de apoyo psicológico, por ejemplo, visitas periódicas de psicólogos, derivaciones psiquiátricas en caso de ser necesarias, disponibilidad y voluntad de ayudar, de forma personalizada, a trabajadores que estén pasando por un momento complejo, etc.

\* \* \*

Debido a todo lo anterior, para los mantenedores del caso principal seleccionados previamente, se recomienda con tal de reducir el número de errores técnicos:

- Capacitación técnica: por falta de información o de habilidad.
  - Juan, Carlos, Susana y Mateo.
- Capacitación de seguridad.
  - Juan, Carlos y Susana.

Se espera que, una vez implementadas las medidas de confiabilidad humana adecuadas para cada uno, el rendimiento del personal mejore, tendiendo a cercarse a los rendimientos de una categoría superior. Por ejemplo, para el ATP se espera que los trabajadores que tengan un rendimiento histórico promedio (60 %) se acerquen a (o superen) un rendimiento bueno (75 %), después de un tiempo prudente de ajuste. Para revisar estas categorías, consultar la subsección 3.2.2 (página 38).

El procedimiento aquí descrito es similar al utilizado para corregir errores en el mantenimiento planificado, pero considera que los problemas pueden tener una causa netamente humana o relacionada al desempeño humano.

A pesar de que esto puede realizarse durante el periodo de estudio, se recomienda lo contrario ya que, de ser así no se tendrán datos para comparar el efecto de los resultados, no sabrá en qué nivel sus nuevas mediciones estarán influenciadas por los cambios realizados y no podrá presentar resultados verificables para luego determinar si se expande el procedimiento al resto de las secciones de la organización.

Un equipo natural de trabajo debería llevar a cabo este procedimiento con reuniones semanales o mensuales, para analizar el registro de datos, determinar los errores críticos, generar soluciones e implementarlas. Este equipo debería estar conformado por mantenedores, operarios, planificador, especialista, diseñador o ingeniero de procesos, prevencionista de riesgos y un facilitador o asesor técnico, y deben ser apoyados directamente por un gerente. Este último debe abrir puertas para el grupo de trabajo, darles prioridad a sus recomendaciones y gestionar que tengan los recursos que necesiten.

### **A.3.5. Perfil y Reclutamiento**

Para definir estándares adecuados sobre qué tipo de comportamiento y rendimiento se debe exigir de los trabajadores, tanto en ejercicio como en reclutamiento, se requiere

realizar un trabajo en conjunto con operadores o mantenedores, según sea el caso, jefes de sección, Recursos Humanos y gerentes interesados.

El personal en ejercicio debe cumplir con ciertos KPI, seguir procedimientos establecidos y actuar acorde con la cultura organizacional, en cómo se relacionan con los demás trabajadores y contribuyen a que la organización sea un lugar comfortable.

Mediante entrevistas o cuestionarios, se recopilan los conocimientos que deben tener los trabajadores y las obligaciones con las que deben cumplir, como lo ve la organización y el personal; en este caso, para el puesto de técnico mantenedor. Se deben definir las características importantes del puesto de trabajo, los aspectos fundamentales necesarios para desarrollar sus funciones<sup>1</sup>, como también los aspectos culturales<sup>2</sup> para que alguien nuevo encaje de buena forma en la organización. También se deben establecer los aspectos de personalidad requeridos, para cumplir con las exigencias propias del puesto de trabajo<sup>3</sup>.

Esta información debe ser real, no el reflejo de un trabajador ideal que no existe, por lo que debe ser validada observando el desarrollo normal de los trabajadores. De todas formas, el trabajador es el que conoce de mejor forma el trabajo que realiza, su entorno y el de los activos con los que se encuentra en contacto.

El desarrollo de este proceso permite prevenir que personas no aptas para un cargo se encuentren en ejercicio o sean contratadas, aumentando la confiabilidad humana al contar con personal idóneo.

\* \* \*

Se recuerda que una parte importante de implementar medidas de la confiabilidad humana es considerar el factor humano en las distintas etapas de decisión. Para mejorar los indicadores de Mantenimiento, no basta con estudiar las causas raíz de errores y solucionarlas, sino también apoyar a los trabajadores en el ámbito psicológico. Si se mejora el diseño o la condición de una máquina, se capacita de forma íntegra y se cumplen con todas las medidas de seguridad, y aun así existen técnicos que tienen problemas mien-

---

<sup>1</sup>Algunos puntos importantes sobre el perfil del puesto de trabajo son: el rango etario (veterano, *baby boomer*, generaciones X o Y), los estudios, la experiencia, la especialización.

<sup>2</sup>Algunos puntos importantes del requerimiento cultural son: la aceptación de la jerarquía (distancia del poder), preferencia entre colectivismo e individualismo (trabajo en equipo), femineidad y masculinidad (igualdad de género), adaptación a situaciones estructuradas o no estructuradas (evitar la incertidumbre), orientación de largo o corto plazo (proyección en la empresa).

<sup>3</sup>Algunos puntos importantes de personalidad son: la capacidad para trabajar en equipo, presiones, traslados, demanda del trabajo, flexibilidad, trabajo bajo estrés.

tras sus compañeros subieron su rendimiento, lo más probable es que estos estén sujetos a problemas psicológicos, ya sea relacionados con el trabajo, como el estrés excesivo, o personales, como una crisis económica o familiar. Si la compañía logra identificar estos casos y ayuda a estos trabajadores a salir adelante, su compromiso con el trabajo será inigualable, su satisfacción laboral subirá y se sentirán orgullosos de pertenecer a la organización.

### **A.3.6. Líder y Equipo de Mantenición**

Para identificar los problemas psicológicos que puedan sufrir los trabajadores, no basta con observar su comportamiento diario o su rendimiento. La mejor forma de identificar cuando un trabajador está en condiciones subóptimas es que él o ella lo informen y para esto se necesita un buen nivel de confianza dentro del grupo de trabajo. De esta forma, es muy importante que exista al menos un líder dentro del grupo de trabajo, ya sea éste el jefe o gerente de mantención, o uno de los técnicos mantenedores. Para esta función, esta persona debe ser un líder natural y no uno impuesto por la jerarquía organizacional.

La figura del líder no es exclusiva de la confiabilidad humana, sino que es parte esencial de muchos sistemas de gestión, como el TPM. Los líderes naturales forman y mantienen equipos de personas unidos, a pesar de sus diferencias, gracias a un objetivo en común. Un buen líder genera una dinámica de grupo tal que permite que los demás operarios o técnicos puedan confiar en sus compañeros, formando vínculos de cercanía, confianza y amistad, lo cual ayuda bastante a predecir estados psicológicos o fisiológicos problemáticos dentro del grupo, como el estrés o la enfermedad, ayudando a lidiar con ellos de forma temprana, facilitando la aplicación de medidas proactivas de confiabilidad humana.

Un grupo que confía en cada uno de sus integrantes, que se relaciona de buena forma durante las horas laborales, colaborando, compartiendo y hasta almorzando juntos; que comparte cada cierto tiempo fuera del horario de trabajo, para cumpleaños o festividades; es un grupo unido, donde los miembros tienen la confianza de compartir lo que les sucede internamente, ya sean problemas de salud, psicológicos, familiares, económicos, etc. Después de todo, el trabajo representa gran parte del tiempo cotidiano de un trabajador. Los miembros más nuevos, tímidos o introvertidos del equipo de trabajo puede que no se sientan lo suficientemente cómodos para contar sus problemas ante todo el grupo, pero un líder natural destaca por su carisma, porque inspira confianza en

los demás, porque se preocupa de sus compañeros, ya sean de rango jerárquico superior, igual o inferior a ellos. Este líder, o líderes, es la clave para monitorear el estado de los trabajadores, no en el sentido de supervisar su labor y estar encima de ellos exigiéndoles un mayor rendimiento, sino por una genuina preocupación por su salud física y mental.

Es fácil pensar en el líder como el jefe de mantenimiento, contratado o designado para el trabajo por un gerente, o el mantenedor con mejores KPI, pero este no tiene que ser necesariamente el caso; un líder natural se destaca entre sus compañeros por otras características.

Es importante que los líderes de cada grupo de trabajo tengan el apoyo de sus respectivas secciones, que tengan las herramientas para poder ayudar a sus compañeros que lo necesiten, que tengan a quien acudir para informar de alguna situación y que se les tome en cuenta por los niveles jerárquicos mayores. La organización debe identificar estos líderes naturales, nutrirlos, apoyar su formación y desarrollo, pues son los recursos humanos más valiosos. Por esto, su organización debería capacitar a sus líderes naturales, para su desarrollo personal, por interés organizacional y para sacar provecho de su potencial, del cual se han dado múltiples ejemplos.

En particular para la aplicación de elementos de la confiabilidad humana en el área de mantención, idealmente, el líder natural podrá identificar cuando sus compañeros no se encuentren bien, podrá obtener la causa de su pesar y, gracias a su formación, sabrá cómo actuar y a quien acudir para prestar la ayuda requerida por sus colegas. No es parte de sus funciones prestar el apoyo psicológico que se necesita, más allá de lo que puede aportar un amigo, sino informar a la organización de la situación que se presenta. Luego, el área de Recursos Humanos deberá poder reaccionar de forma rápida para tomar las medidas necesarias; a esta altura, no debe sorprender que la implementación de este sistema no es algo que puede lograr la sección de Mantención por sí sola, sino que requiere el compromiso de la toda la organización para cambiar para mejor.

### **A.3.7. Incentivos**

Ser un buen líder o querer mejorar como trabajador son comportamientos que deben ser recompensados. El reconocimiento del buen trabajo realizado y la creación (o fortalecimiento) de un programa de estímulos son muy importantes. Los reconocimientos a trabajadores por el buen desempeño de sus labores forman parte de un sistema de incentivos que motiva a los individuos a cumplir con las metas.

Es importante mencionar que el reconocimiento se debe otorgar de acuerdo con las necesidades de los trabajadores, ya que estas varían según el rango etario o las situaciones especiales por las que atraviesan, como en los casos secundarios de simulación. Por ejemplo, unos pueden desear un bono económico mientras otros podrían preferir días libres.

Se recomienda optar por un programa de estímulos intermitente a razón variable, sobre uno continuo o fijo, es decir, uno en el cual las recompensas se otorgan a intervalos variables o según metas de producción cambiantes, poniendo a prueba el desempeño del trabajador en distintos tiempos y formas, sin incentivar un comportamiento rutinario.

De la mano de un programa de incentivos, se debe establecer un sistema que permita evaluar cómo los trabajadores se comportan y desempeñan en sus labores. Como parte del programa de estímulos recomendado, se les informa a los trabajadores que ocurrirán visitas de supervisión de procedimientos, pero no cuándo se realizarán, lo que busca mantener un buen comportamiento permanente dado que existe una visita inminente o eventual. Se debe llevar un registro de los comportamientos de los trabajadores en el tiempo, con tal de premiar las buenas prácticas consistentes y velar que las malas conductas no se repitan.

Por otro lado, es importante desarrollar instancias de retroalimentación en forma grupal e individual, donde el personal pueda exponer su punto de vista, en cuanto a situaciones laborales vividas, entorno laboral, disconformidades o sugerencias, entre otros. Una instancia grupal puede revelar situaciones como el incumplimiento de la empresa en otorgar implementos de seguridad o disconformidades con procedimientos establecidos, por ejemplo. Las reuniones personales permiten al trabajador expresarse sobre sus disconformidades, comentar si vive un momento difícil o, incluso, exponer un incumplimiento o una violación realizada por algún compañero.

### **A.3.8. Diferencias entre Turnos**

Diferentes turnos de mantenedores presentan usualmente resultados distintos. Esto puede deberse a que atienden a procesos o equipos distintos, a que el desempeño de las personas cambia entre el día y la noche, a diferentes condiciones para cada grupo de trabajo o a los supervisores de cada turno.

Esto no es parte del resto del análisis, que se concentra en el registro de datos y su estudio, sin embargo, es un factor importante que considerar. Por ejemplo, dos turnos,

uno de día y otro de noche, no deberían compararse simplemente entre sí, ya que probablemente se enfrenten a condiciones distintas; de la misma forma en que se plantearon limitaciones para la sección piloto, con máquinas y tareas de similar complejidad, para permitir su comparación, se deben generar instancias en las cuales se puedan comparar los distintos turnos, siempre y cuando existan estas semejanzas.

De esta forma, se recomienda en el corto plazo llevar registros distintos entre turnos diferentes, comparándolos con sí mismos y no entre ellos. A largo plazo, si existe rotación entre los mantenedores de los turnos o si se avanza en nivelar las condiciones de ambas jornadas, pueden empezar a compararse sus indicadores.

### A.3.9. Árboles de Solución de Problemas

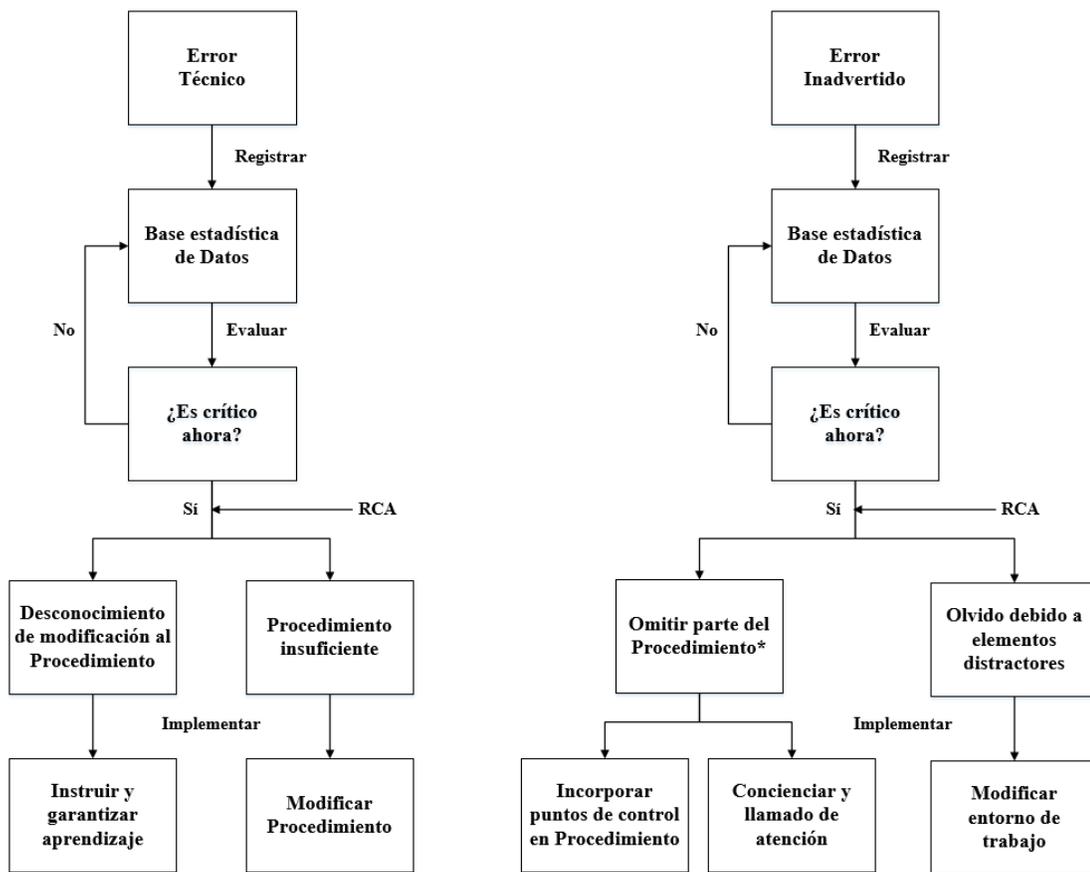


Figura A.7: Árbol de solución de problemas de errores técnicos e inadvertidos.

Una vez identificada la causa raíz de un problema y su solución implementada, se registran en diagramas de troubleshooting (árbol de solución de problemas), como

el de la figura A.7, para los errores previamente discutidos en la subsección 1.4.1 del marco teórico (página 11). En la figura se observa:

- Para un error técnico, se presentan dos causas para dos errores distintos, sin embargo, ambas se relacionan con la falta de información.
- Para uno inadvertido, se presentan dos causas para dos errores distintos. El primero (marcado por un asterisco) puede deberse a una falta de atención o exceso de confianza por parte del mantenedor, mientras que la segunda ocurre por un vacío mental.

La forma detallada anteriormente puede ser generalizada para cubrir todo tipo de errores, ya sean humanos o de máquina, como se observa en la figura A.8. De forma análoga a la anterior, cuando ocurre un error, se registra en la base de datos de mantención y se estudia su criticidad. Si es crítico, se realiza un análisis de causa raíz (RCA) y, tras encontrar la causa raíz, por alguno de los métodos explicados en el marco teórico, como los 5 porqués o el diagrama de Ishikawa, se aplica mantención o una medida de confiabilidad humana, de las expuestas en esta sección, según corresponda por la naturaleza de dicha causa. Hay que recordar que un error puede no ser crítico cuando ocurre por primera vez, pero puede volverse crítico por repetición.

Este es solo el tronco del árbol de solución de problemas, el cual guía de forma global cómo empezar y cómo terminar. Una vez que el lector encuentre las distintas causas para cada error producido, con su solución correspondiente, puede empezar a agregar ramas de problemas conocidos y resueltos, con tal de que no se repitan. Esto es particularmente importante, ya que abre la posibilidad de cometer nuevos errores, de identificar nuevas causas para problemas que se pensaban similares a los ya registrados, con tal de ir mejorando de forma paulatina, hasta lograr un árbol robusto, donde la mayoría de los errores se conocen y se sabe cómo reaccionar ante ellos o adelantarse a su ocurrencia. Sin embargo, identificar cada tipo de error no es un objetivo de este método, sino encontrar las soluciones de los errores críticos y que estos no vuelvan a ocurrir.

Una vez que se llega a este punto, se puede empezar a saborear los frutos de este sistema. No obstante, no se debe permitir la complacencia ni olvidar el trabajo ya realizado. Todo este proceso es para alimentar su capital intelectual interno y nutrir el talento humano de su organización.

Este procedimiento mejora indudablemente los KPI de la sección de Mantenimiento, ya que ataca los errores más comunes e importantes, reduciéndolos o controlándolos. Además, se encarga de revisar los procedimientos y medidas de seguridad actuales, cambia y mejora los entornos de trabajo, garantiza que el nuevo aprendizaje sea efectivo, etc., por lo que también mejora en específico los indicadores de desempeño de los mantenedores.

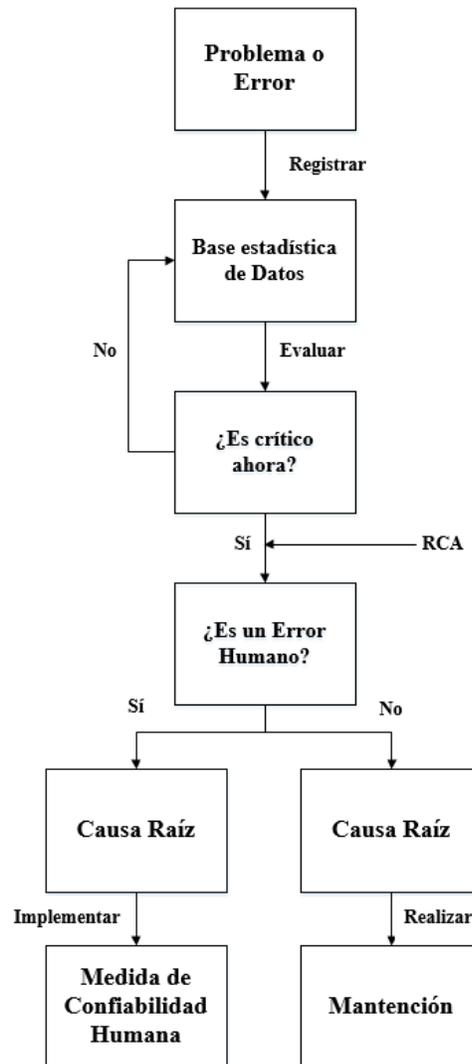


Figura A.8: Árbol de solución de problemas generalizado.

## **A.4. Estadística del Comportamiento**

Una vez la metodología ha sido implementada, se tienen mediciones por periodos asociadas a distintos KPI, se planifican y realizan reuniones para analizar y solucionar fallos, se registran los pares error-solución en los árboles de solución de problemas. Ahora se debe utilizar todo lo que se tiene y se ha aprendido para empezar a analizar y predecir el comportamiento de los técnicos, para evitar situaciones complejas y adquirir un enfoque proactivo para la solución de errores humanos.

A medida que se solucionan problemas críticos y se adquieren datos del desempeño humano, se van marcando comportamientos específicos para cada mantenedor, esto representa su conducta normal, la que debe irse actualizando con el tiempo. Esta tendencia o comportamiento normal es lo esperado del trabajador, por lo que es útil para comparar cuando su conducta cambia. Tal como los activos complejos, las personas están sujetas a equivocarse de forma aleatoria; el error humano no se puede eliminar del todo. De la misma forma, pueden sufrir situaciones transitorias que afecten su estado físico o psicológico y que repercutan en su rendimiento laboral.

Para detectar esto, se debe comparar el rendimiento periodo a periodo de los técnicos con sus tendencias históricas, considerando los procesos internos y externos a la organización, para poder predecir y actuar a tiempo cuando un trabajador sufra algún estímulo o estrés que afecte en su desempeño.

Para ejemplificar lo anterior, se utilizarán los resultados de la simulación realizada, donde se obtuvieron variados comportamientos que permiten apreciar distintas situaciones posibles que pueden ocurrir en un taller de mantenimiento, recopilados en las figuras A.9 y A.10.

Generalmente, el empleado de mejores indicadores no requiere mayor ayuda ni orientación, ya sabe lo que tiene que hacer y cómo hacerlo, siguiendo los procedimientos establecidos y sin ponerse en riesgo innecesario; por esto, tampoco se espera que pueda mejorar demasiado. Se debería utilizar este tipo de trabajadores para liderar los procesos de capacitación o como tutor personal de otros mantenedores que quieran mejorar. Los siguientes en línea, que cumplen de buena forma su trabajo en general pero que tienen un mayor espacio para mejorar, pueden llegar a alcanzar el nivel anterior con la asistencia adecuada, lo que mejoraría el desempeño de la sección y también produciría nuevos posibles tutores, para apoyar el desarrollo laboral del resto del equipo. Es normal que exista cierta competencia entre este nivel con el anterior, queriendo alcanzar y

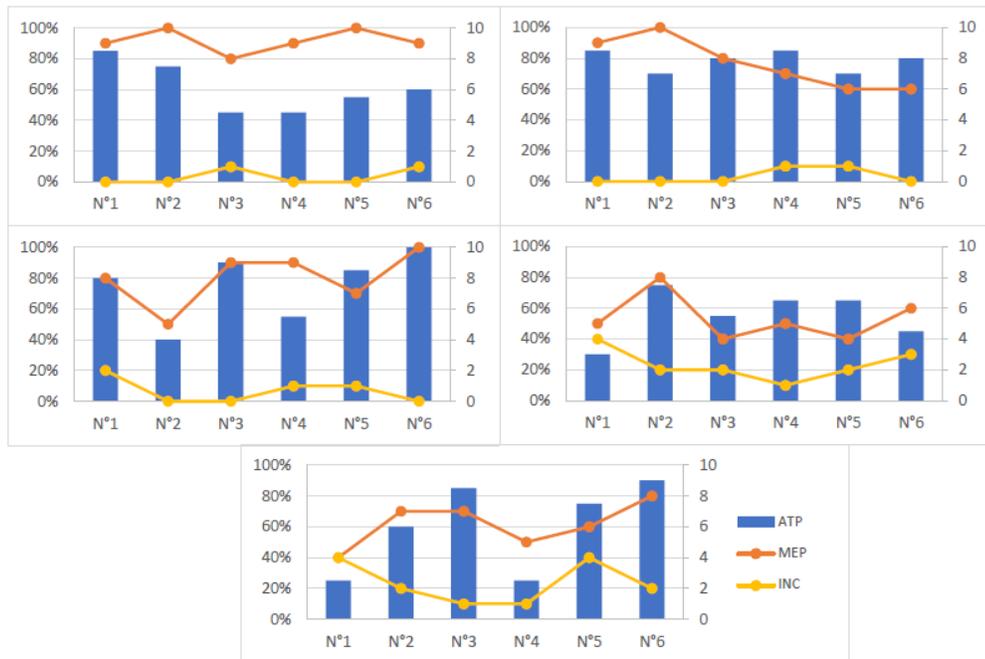


Figura A.9: Gráficos de rendimiento personal de Laura, Lucas, Nancy, Juan y Karen.

superar al de mejor rendimiento, ya sea por desarrollo personal o una bonificación. Es importante que el líder natural del equipo maneje esta competencia para que sea sana y no desemboque en conflictos internos; sin embargo, tampoco se debe eliminar del todo, ya que lo más justo es que las recompensas por metas vayan variando entre los individuos y no que sean permanentemente asignadas a uno solo, lo que produciría un efecto contrario y no deseado, donde se percibe que esta recompensa tiene nombre y apellido, y no existe la posibilidad de que otros la puedan obtener.

En los siguientes niveles es donde se encuentra la mayor variedad. Aquí se puede tener casos donde los trabajadores quieren mejorar, pero no cuentan con la capacidad técnica para lograrlo; algunos que estarían interesados en desarrollarse, pero ven demasiado lejos el nivel de los ya descritos; casos donde un trabajador se encuentra cómodo siendo parte del promedio; y hasta unos que no están seguros si les gusta su trabajo. De acuerdo con lo que se registre y las actitudes que se observan, se debe rescatar a los primeros y segundos, capacitarlos donde tengan falencias, apoyarlos con la experiencia de los de mayor rendimiento y hacerles sentir que pueden mejorar si solo lo intentan. Sobre el resto, como ya se ha mencionado, depende del enfoque de la organización si desea empujarlos hacia el desarrollo y la especialización, pero se debe recordar que el control sobre la voluntad de un individuo es mínimo y que la gestión de la calidad del

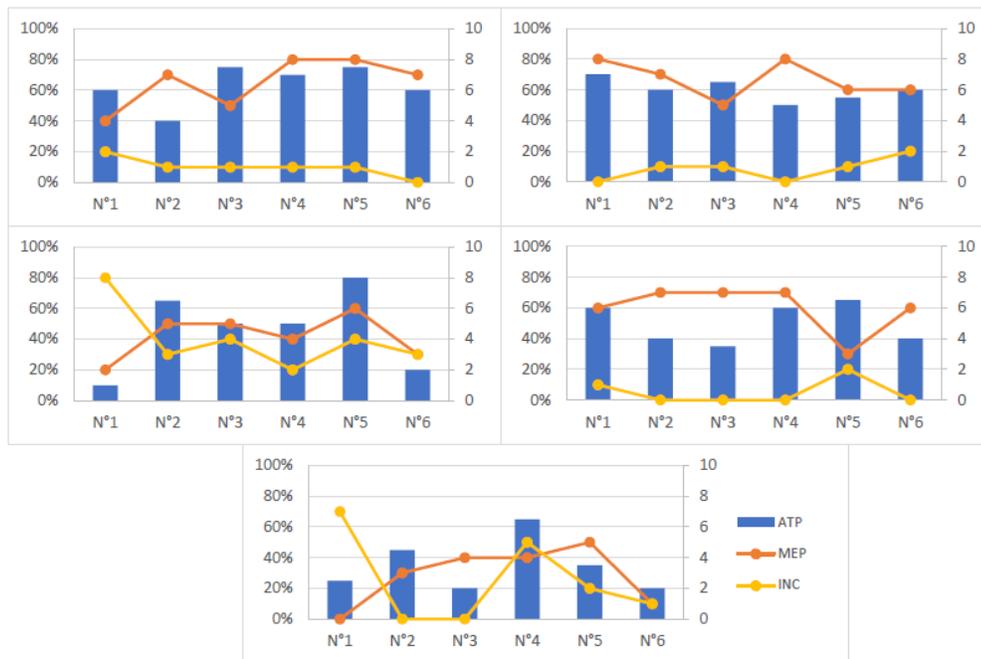


Figura A.10: Gráficos de rendimiento personal de Carlos, Susana, Pedro, Mateo y Lisa.

mantenimiento recomienda concentrar los esfuerzos en convertir a la gente buena en excelente.

A pesar de lo anterior, un trabajador de bajo rendimiento ya sea por limitados conocimientos, una deficiente formación profesional, entre otros, pero que desee mejorar debería ser apoyado en mayor forma, ya que tiene la voluntad para cambiar y la motivación para intentarlo. En el peor de los casos, el trabajador fallará, pero no se sentirá abandonado por su organización ni sus compañeros.

En los casos anteriores, no puede realizarse un estudio mayor del comportamiento de los trabajadores, ya que solo se cuenta con una línea base del contexto organizacional. Sin embargo, cuando se cuenta con mayor cantidad de registros y un mayor tiempo de observación, pueden empezar a resaltar patrones de comportamiento humano que deben ser detectados a tiempo y resueltos. Esto ocurre en los casos secundarios, revisados a continuación.

Uno de estos casos puede ocurrir en ciertas épocas del año, ya sea por movimientos sindicales, presiones sociales o económicas, problemas de salud física o psicológica, etc. Este suceso corresponde al denominado 'meses críticos', primer gráfico de la figura A.11, en el cual un trabajador presenta un comportamiento normal durante todo el



Figura A.11: Gráficos de rendimiento personal de Marta, Boris y Paz.

año, sea cual sea su rendimiento esperado, salvo en algunas semanas o meses, donde su desempeño se desploma o se ve involucrado en un mayor número de incidentes. En este caso se debe investigar el porqué de esta caída, de forma no invasiva, preferentemente por el líder natural de su grupo de trabajo o por el mismo grupo; y se debe prestar el apoyo que requiera el técnico de mantenimiento para que pueda salir de buena forma y fortalecido de su situación.

Otro caso es el de 'pendiente negativa', segundo gráfico de la figura A.11, en el cual un mantenedor comienza a bajar paulatinamente su rendimiento, desde su nivel normal de desempeño. Si esta baja constante y prolongada en el tiempo no se produce debido a la modificación de algún aspecto laboral, lo más probable es que ocurra por temas personales, es decir, existe alguna preocupación personal que está causando este descenso en rendimiento. Nuevamente, se debe intentar detectar este tipo de cambio en el comportamiento con antelación, para poder reaccionar proactivamente y evitar así que la situación que pueda causar esto, la causa raíz por llamarlo de alguna forma, se pueda atacar o manejar antes de que cause un daño grave.

Por último, la 'tendencia preocupante' se refiere a un comportamiento normal en el tiempo, con caídas de rendimiento esporádicas pero repetitivas, como se observa en

el último gráfico de la figura A.11. De forma similar al caso anterior, esto ocurre por presiones personales, externas o internas al trabajo, pero que se manifiestan de forma súbita, por lo que es más importante aún notarlo a tiempo, ya que es probable que tenga una reacción más violenta si se deja estar, causando un daño al trabajador del que le tomará largo tiempo recuperarse, lo que es malo tanto para él o ella y para la organización.

Cuando el lector tenga los datos de sus propios mantenedores de forma similar a la presentada a lo largo de este documento, podrá realizar un procedimiento análogo al presentado anteriormente, del cual obtendrá las tendencias naturales de comportamiento y podrá detectar los cambios a estas conductas, ya sean aleatorios o transitorios, que se verán reflejados en los KPI.

Eventualmente, tendrá que determinar qué porcentaje de cambio corresponde a un efecto aleatorio y que, por lo tanto, podría aceptarse, y cuánto corresponde a efectos transitorios, que deben ser esclarecidos y ocuparse de sus efectos.

Este análisis es más complejo que el de buscar causas raíz y corregirlas, por lo que el equipo asignado a su revisión debe tener un mayor nivel de conocimiento. Este equipo puede ser conformado por los líderes naturales de Mantenimiento, jefe o gerente de Mantenimiento, planificador, facilitador o asesor técnico, analista de recursos humanos, prevencionista de riesgos, entre otros.

Este grupo debería reunirse periódicamente, aunque no tan seguido como el que se encarga de solucionar errores. Por ejemplo, una reunión cada tres meses permite apreciar de mejor forma las diferencias entre la tendencia esperada y los nuevos registros. Sin embargo, en caso de detectar una tendencia conductual preocupante, se debe hacer un seguimiento constante de la situación, para verificar que existe un patrón y poder actuar a tiempo.

Considerando todo lo anterior, el cronograma de un plan de implementación podría verse como el de la siguiente figura.

CRONOGRAMA		MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
FASES	ACTIVIDADES	SEM 1	Sem 2											
A	A1													
	A2													
B	B1													
C	C1													
D	D1													

Figura A.12: Cronograma de actividades.

Actividades	Descripción
A1	Diagnosticar y Definir
A2	Medir y Registrar
B1	Periodo de Estudio
C1	Analizar y Solucionar
D1	Analizar Comportamientos

Tabla A.1: Detalle de las actividades del cronograma.

## A.5. Paralelos con la familia de normas ISO 55000

En su nivel más básico, la norma establece un ciclo PDCA, que se construye sobre un contexto organizacional, apoyado por un soporte que facilita los recursos necesarios para su realización, y guiado por un liderazgo comprometido, que busca alinear todos los objetivos de la organización alrededor de la gestión de activos.

Existen dos formas de relacionar el trabajo expuesto en este documento con un programa de certificación de esta familia de normas internacionales. La primera es de arriba hacia abajo, es decir, si la gerencia decide que la organización debe certificarse, se comienza con el contexto actual, la redefinición de objetivos y la alineación de los objetivos de cada parte que la conforma con esta nueva meta global. Para esto, requiere comprometerse en liderar este proceso de cambio, establecer los roles y actividades que se deben desarrollar y asignar responsabilidades.

La otra forma es utilizar esta instancia de incorporación de la CH a los procesos de la organización, desde el mantenimiento y la producción, realizar el proceso gradual aquí descrito y demostrar los resultados conseguidos a su término, con la sección piloto escogida. Si esta discusión es provechosa y existe el ánimo y el respaldo para expandir su alcance y realizar cambios de fondo en la organización, se puede proponer como meta a futuro la certificación internacional, y usar los procesos de gestión del mantenimiento, el enfoque proactivo, la mejora continua, el fortalecimiento del capital intelectual y su distribución en el talento humano, para impulsar este cambio.

En ambos casos, se necesita nutrir a los trabajadores para mejorar sus conocimientos y desempeño, se debe garantizar que los cambios realizados sean para mejor y permanentes, se debe controlar el rendimiento laboral y revisar la gestión de la gerencia para facilitar el proceso de cambio.

## **A.6. Exposición de Resultados**

Luego de realizar análisis de errores y comportamientos por un tiempo, cuando se tengan suficientes datos y resultados, se debe exponer lo logrado ante los actores interesados. Si todo partió como una directiva organizacional, puede que la Gerencia llame a presentar los resultados después de un tiempo estipulado, o si partió como una iniciativa del área de Mantenición, cuando el equipo esté preparado. En ambos casos se debe exponer lo conseguido, comparar lo que se tenía originalmente en la línea base y lo logrado luego de analizar y solucionar problemas, la información que aporta el análisis de comportamientos y cómo ayuda a la toma de decisiones.

Estos resultados deben ser luego publicados para el conocimiento de toda la organización y se debe reconocer a los que llevaron a cabo el proceso y sus colaboradores.

Los resultados deberían hablar por sí mismos y ayudar a conseguir que se expanda el alcance del proyecto piloto a otras secciones de la organización.

De esta forma, eventualmente, el lector será parte de una organización que toma en cuenta el factor humano en sus procesos y utiliza medidas de confiabilidad humana para controlar su efecto, mejorando así el cumplimiento de sus objetivos y su competitividad; además, apoya a sus trabajadores cuando pasan por un mal momento, contribuyendo activamente a ser una compañía en la cual sus trabajadores se sienten orgullosos de ser parte.

## **A.7. Partir de Cero**

Si el lector no cuenta con un sistema como el mantenimiento planificado u otro similar dentro de su organización, o tal vez no pertenece a una empresa productiva o similar, sino por ejemplo a una oficina o compañía de servicios; pero de todas formas quiere aplicar el método explicado en este documento, lo puede hacer salvo que con un enfoque distinto. Debe ser evidente a esta altura las ventajas de contar con un sistema que registra los problemas y errores mientras ocurren, y que fomenta el uso de acciones proactivas para solucionar y prevenir estas situaciones, en vez de solo reaccionar a ellas. Este debería ser su primer paso, registrar los errores que ocurren en la sección o proceso que busca mejorar, relacionándolos con indicadores que faciliten medir el desempeño de tareas y con las metas de su organización.

Una vez cuente con un registro suficiente de datos, que reflejen la situación actual de su sección, para tener un punto comparativo, puede empezar a hablar de criticidad y buscar

los culpables detrás de los errores que ocurren en su gestión o labor, para encontrar las causas raíz.

Con esto identificado, se buscan soluciones que minimicen el impacto de estos fallos o su repetición, ya sea mediante la modificación de cómo se realizan sus procesos, de la capacitación de los trabajadores o el cambio del entorno de trabajo.

Cabe recordar que un error humano ocurre debido a un estado mental y una situación, y del poco control que se tiene sobre el primero, sin embargo, sí se tiene control sobre las situaciones.

# Anexo B

## Tablas de Resultados

Se incluyen a continuación las tablas de resultados utilizadas en el manual de confiabilidad humana, para referencia rápida sin tener que volver al cuerpo de la memoria.

De la simulación, se obtuvieron los resultados presentados en las figuras B.1 y B.2. Para ambas figuras, se muestra la tabla de las variables simuladas para cada técnico mantenedor. La tabla está ordenada según el rendimiento histórico de los trabajadores, de acuerdo con sus promedios de mantenimientos exitosos a la primera, del mejor al peor.

Por otro lado, en la figura B.3 se cuentan los mantenimientos exitosos y fallidos para cada periodo, y se relacionan con las tareas y máquinas de la sección en estudio. En particular, se registran los errores cometidos en cada máquina (M) por cada tarea (T). Se acompañan los datos con su forma gráfica, para facilitar su lectura. En cada gráfico de columnas agrupadas, que representa lo ocurrido en un mes de estudio, la escala vertical mide la cantidad de fallas cometidas en cada máquina del eje horizontal.

Se incluye también la tabla de resultados de uno de los casos secundarios simulados, figura B.4, denominado 'pendiente negativa'.

Técnico de Mantenimiento		Periodo					
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
N°1 Laura	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		85%	75%	45%	45%	55%	60%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		9	10	8	9	10	9
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		1	0	2	1	0	1
KPI N°4	Incidentes						
	0	0	1	0	0	1	
N°2 Lucas	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		85%	70%	80%	85%	70%	80%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		9	10	8	7	6	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		1	0	2	3	4	4
KPI N°4	Incidentes						
	0	0	0	1	1	0	
N°3 Nancy	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		80%	40%	90%	55%	85%	100%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		8	5	9	9	7	10
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		2	5	1	1	3	0
KPI N°4	Incidentes						
	2	0	0	1	1	0	
N°4 Juan	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		30%	75%	55%	65%	65%	45%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		5	8	4	5	4	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		5	2	6	5	6	4
KPI N°4	Incidentes						
	4	2	2	1	2	3	
N°5 Karen	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		25%	60%	85%	25%	75%	90%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		4	7	7	5	6	8
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		6	3	3	5	4	2
KPI N°4	Incidentes						
	4	2	1	1	4	2	

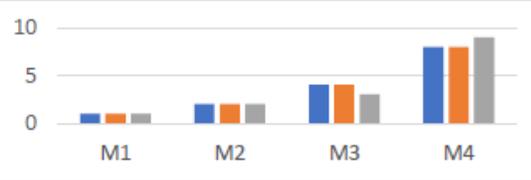
Figura B.1: Primera tabla de resultados de la simulación del Caso Principal.

Técnico de Mantenimiento		Periodo					
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
N°6 Carlos	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		60%	40%	75%	70%	75%	60%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		4	7	5	8	8	7
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		6	3	5	2	2	3
	KPI N°4	Incidentes					
		2	1	1	1	1	0
N°7 Susana	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		70%	60%	65%	50%	55%	60%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		8	7	5	8	6	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		2	3	5	2	4	4
	KPI N°4	Incidentes					
		0	1	1	0	1	2
N°8 Pedro	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		10%	65%	50%	50%	80%	20%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		2	5	5	4	6	3
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		8	5	5	6	4	7
	KPI N°4	Incidentes					
		8	3	4	2	4	3
N°9 Mateo	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		60%	40%	35%	60%	65%	40%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		6	7	7	7	3	6
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		4	3	3	3	7	4
	KPI N°4	Incidentes					
		1	0	0	0	2	0
N°10 Lisa	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]					
		25%	45%	20%	65%	35%	20%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)					
		0	3	4	4	5	1
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos					
		10	7	6	6	5	9
	KPI N°4	Incidentes					
		7	0	0	5	2	1

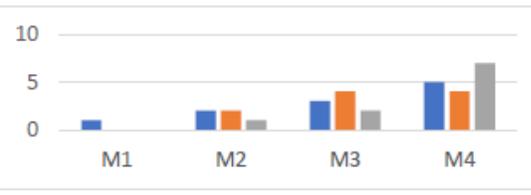
Figura B.2: Segunda tabla de resultados de la simulación del Caso Principal.

Variables /	Periodos	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
Total KPI N°2	Éxitos	55	69	62	66	61	62
Total KPI N°3	Errores	45	31	38	34	39	38

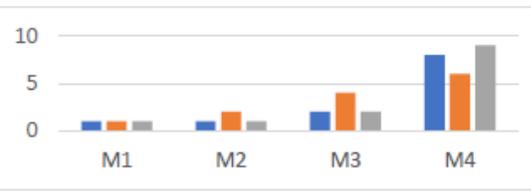
N°1	T1	T2	T3
M1	1	1	1
M2	2	2	2
M3	4	4	3
M4	8	8	9



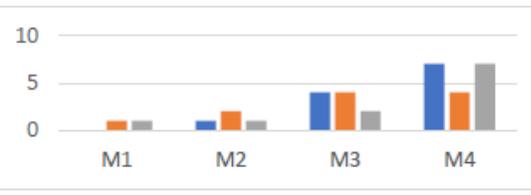
N°2	T1	T2	T3
M1	1	0	0
M2	2	2	1
M3	3	4	2
M4	5	4	7



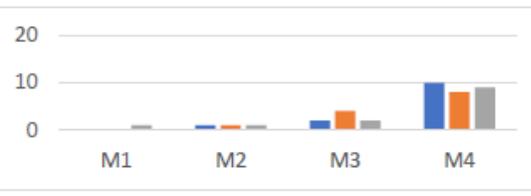
N°3	T1	T2	T3
M1	1	1	1
M2	1	2	1
M3	2	4	2
M4	8	6	9



N°4	T1	T2	T3
M1	0	1	1
M2	1	2	1
M3	4	4	2
M4	7	4	7



N°5	T1	T2	T3
M1	0	0	1
M2	1	1	1
M3	2	4	2
M4	10	8	9



N°6	T1	T2	T3
M1	0	1	0
M2	2	2	2
M3	3	4	4
M4	7	6	7

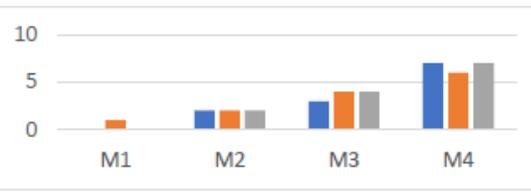


Figura B.3: Relación entre mantenimientos fallidos en distintas máquinas (M1, M2, M3, M4) según la tarea de mantenimiento (T1, T2, T3) correspondiente, de la simulación del Caso Principal.

Técnico de Mantenimiento		Periodo											
		N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12
N°2 Boris	KPI N°1	Avance de tareas programadas [%]											
		50%	65%	55%	40%	55%	45%	60%	30%	45%	35%	65%	35%
	KPI N°2	Mantenimientos exitosos (a la primera)											
		7	6	8	6	5	6	5	4	5	3	3	1
	KPI N°3	Mantenimientos fallidos											
	3	4	2	4	5	4	5	6	5	7	7	9	
KPI N°4	Incidentes												
	1	2	0	2	4	2	3	2	3	7	1	3	

Figura B.4: Segundo caso secundario.