UNIVERSIDAD AUSTRAL

Facultad de Ingeniería
Programas Ejecutivos & Posgrados

Planificación y Programación del Mantenimiento Preventivo Anual para garantizar la sustentabilidad de las operaciones

Maestría en Gestión de Operaciones – MGO Rosario

Año 2022

Autor: Ariel Tavella

Directores: MSc. Ing. Esteban Mascarino – Ing. Jorge Gallo

Indice

Glosario 3
Capítulo 1 3
1. Introducción 4
1.1. Generalidades 4
1.2. Motivaciones 4
1.3. Objetivos y Contribuciones 6
Capítulo 2 8
2. Revisión de Literatura 8
2.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM) 8
2.2. Indicadores del Mantenimiento Productivo Total 10
2.3. Confiabilidad de equipos 11
2.3.1. Curva de confiabilidad 12
2.4. Mantenibilidad 14
2.5. Método de priorización Jack Knife 15
2.6. Estrategias de Mantenimiento 17
2.6.1. Mantenimiento correctivo (CM) 17
2.6.2. Mantenimiento preventivo (PM) 17
2.7. Planificación de mantenimiento 18
2.7.1. Plan de Mantenimiento 19
2.7.2. Planificación de la parada de planta 22
Capítulo 3 25
3. Caso de Estudio 25
3.1. Industrias Tractor Green Argentina (ITGA) 25
3.2. Identificación del Problema 27
Capítulo 4 30
4. Adquisición y procesamiento de datos 30
4.1. Datos del sistema de gestión 30
4.1.1. Datos de Equipos 33
4.2. Procesamiento de datos 33
4.3. Datos de clientes internos y áreas soporte 37
4.3.1. Operaciones 37
4.3.2. Ingeniería de Manufactura 38
4.3.3. Ingeniería de Automación y Control 39

4.3.4. Ingeniería de Mantenimiento 39
Capítulo 5 40
5. Planificación y programación de mantenimiento anual 40
5.1. Esquema de planificación 40
5.1.1. Información de otras áreas 43
5.1.2. Información de Mantenimiento 46
Capítulo 6 49
6. Implementación y resultados 49
6.1. Implementación – Actividades de planificación 49
6.1.1. Tareas previas a la parada anual 51
6.1.2. Ejecución del trabajo en la parada de planta 52
6.1.3. Lecciones aprendidas y próximos pasos 52
6.2. Resultados evidenciados 53
6.2.1. Mejora de Indicadores (OEE, MTBF, MTTR) 53
6.2.2. Aplicación del Método Jack Knife 58
6.2.3. Mejora de confiabilidad 62
6.3. Proceso de digitalización 63
6.3.1. Iniciativas de Mantenimiento Predictivo 65
6.4. Optimización de Costos 66
Capítulo 7 67
7. Conclusiones 67
Bibliografía 70
Anexo A: Registro de ordenes SAP 71
Anexo B: Análisis de modo de falla 72
Anexo C: Análisis de fallas en equipo Comau 73
Anexo D: Análisis de fallas lavadora Esaire 74
Anexo E: Análisis de fallas en línea principal de Ensamble de Motores 75
Anexo F: Análisis de fallas en Bancos Dinamométricos 76
Anexo G: Método Jack Knife en lavadora Esaire A-1309 77
Anexo H: ACR Falla de clampéo en lavadora Esaire A-1309 78
Anexo I: ACR Falla puerta de ingreso en lavadora Esaire A-1309 79

Glosario

CM: Corrective Maintenance o Mantenimiento Correctivo, incluye todas las acciones requeridas para devolver el sistema a un estado operativo una vez que se ha producido la falla, las acciones no pueden planificarse (Manzini et al., 2010).

JIT: Just-in-Time es una filosofía de operación que busca utilizar todos los recursos de la manera más eficiente eliminando todo aquello que no aporte valor al cliente (Swamidass Paul, 2003).

KPI: Key Performance Indicator o Indicador Clave de Actuación, son aquellas métricas más relevantes para una estrategia, que determinan el éxito o no (Levitt, 2004).

MTBF: Mid Time Between Failure, tiempo medio entre fallos. Cuanto más alto es este valor, más fiable es el equipo. Se refiere al tiempo promedio de funcionamiento de un equipo hasta que presenta una falla funcional (Garcia Garrido, 2003)..

MTTR: Mean Time To Repair, es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos. En otras palabras, es el tiempo activo neto de reparación sin demoras y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación(Garcia Garrido, 2003)

OEE: Overall Equipment Effectiveness, indicador central que muestra la eficiencia del proceso de producción. Actualmente, todos los sectores de la organización tienen el reto de mejorar este indicador (Morales Méndez & Rodriguez, 2017).

PM: Preventive Maintenance o Mantenimiento Preventivo, incluye todas las acciones realizadas para mantener el sistema en un estado operativo evitando fallas por desgaste. Las acciones pueden planificarse y, si es posible, ejecutarse cuando no hay demanda para utilizar el sistema.(Manzini et al., 2010)

TQM: Total Quality Management o Gestión de la Calidad Total, es una herramienta para lograr que el producto final sea eficiente, es una filosofía de gestión orientada a que la totalidad de la empresa tome conciencia de calidad. De esta forma, cada área de la empresa, y no un departamento concreto, debe tomar su parte de responsabilidad en alcanzar la calidad total.(Alberto et al., 2009)

TPM: Total Productive Maintenance, es una filosofía que involucra a toda la organización aumentando así los niveles de conocimiento, desempeño, eficiencia y trabajo en equipo en cada área.(Morales Méndez & Rodriguez, 2017)

Capítulo 1

1.Introducción

1.1. Generalidades

Esta tesis consta de siete capítulos los cuales abordan diferentes aspectos del problema de decisión que se pretende analizar. El Capítulo 1 describe la motivación y los objetivos de investigación. El Capítulo 2 revisa la literatura existente sobre cada uno de los pilares del TPM (Total Productive Maintenance), introduciéndonos en la organización y gestión integral del mantenimiento. El Capítulo 3 proporciona una descripción de Industrias Tractor Green Argentina (ITGA), fabricante de máquinas agrícolas, la cual será nuestro caso de estudio. Además, este capítulo analiza cómo estos temas son abordados por industrias de procesos en las cuales la planificación y programación del mantenimiento son claves para el negocio. A continuación, el Capítulo 4 presenta el procesamiento y análisis de los datos existentes, etapas claves para el desarrollo de este caso de estudio. El Capítulo 5 proporciona un método de planificación y programación del mantenimiento anual, apalancándonos en técnicas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo. De aquí se obtiene un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad de equipos que se hayan establecido. El Capítulo 6, presenta el despliegue del plan diseñado en el Capítulo 5 y los resultados obtenidos luego de aplicar el mismo a las líneas de producción de ITGA. Finalmente, el Capítulo 7 resume nuestros hallazgos, limitaciones y explora posibles extensiones de investigación.

1.2. Motivaciones

En primera instancia, debemos reconocer que el objetivo general de la planificación y programación del mantenimiento es aumentar la productividad de todas aquellas máquinas y equipos destinados al proceso de producción de bienes, a través de un conjunto de actividades desarrolladas por el personal de mantenimiento y el operador del equipo, dado que este último es responsable del buen uso de los equipos y de los respectivos procesos. Según la literatura consultada se cree que el 80% del tiempo de inactividad no planificada del equipo es de una naturaleza repetitiva y puede ser resuelto por un operador capacitado, mientras sólo el 20% requiere ayuda externa.

Esto significa que se puede garantizar una reacción y solución inmediata (Morales Méndez & Rodriguez, 2017).

Por su lado, el mantenimiento es fundamental en la gestión de activos, siempre que una máquina se detiene debido a una avería, o para el mantenimiento de rutina esencial, se incurre en un costo. Dicho costo puede ser simplemente el costo de la mano de obra y cualquier material, o puede ser mucho mayor si la parada interrumpe la producción (Ming J. Zuo, Lin Ma, Joseph Mathew, Hong-Zhong Huang, 2006)

En otras palabras, la planificación y programación del mantenimiento sirve para mejorar la eficiencia del equipo y minimizar costos de producción, además de aprovechar al máximo su capacidad, disponibilidad y evitar su degradación (Díaz-Reza et al., 2019) Para ello, busca la reducción de aspectos que incluyen paradas no planificadas de equipos, barreras de comunicación entre departamentos, problemas de calidad, accidentes de seguridad o medioambientales, costos excesivos, entre otros.

En un escenario de alta competitividad que demanda la búsqueda constante del aumento de productividad, resulta estratégicamente necesario contar con un planeamiento detallado y una ejecución exitosa del mantenimiento de los equipos.

Un plan cuidadosamente elaborado nos brindará la información necesaria para ejecutar correctamente el mantenimiento requerido por los equipos para maximizar su factor de utilización. Esto garantizará una performance confiable de los mismos y una mejora en los indicadores de mantenimiento, como ser, por ejemplo, Mean Time To Repair (MTTR), Mean Time Between Failures (MTBF), Uptime, costos.

Para lograr el propósito comentado anteriormente, las empresas tratan de maximizar la efectividad del equipo buscando reducir las paradas no programadas, y al mismo tiempo minimizar costos a través de la mejora de productividad y reducción de los gastos de mantenimiento. Sin embargo, los esfuerzos para mitigar las causas de caída en los rendimientos de los equipos, tales como, tiempo de inactividad, pérdida de velocidad y defectos de la producción, muchas veces no son suficientes, es por ello, que una buena planificación y programación del mantenimiento se convierte en una tarea crítica.

El objetivo del mantenimiento planificado será mitigar estas pérdidas, conservando la disponibilidad de los equipos a un costo óptimo de mantenimiento, mejorando la confiabilidad y mantenibilidad de las máquinas, garantizando siempre la disponibilidad de piezas de repuestos (Díaz-Reza et al., 2019).

Por otro lado, en las empresas, el mantenimiento preventivo (PM) y la producción muchas veces ingresan en conflictos debido a dos razones principales. Primero, porque el tiempo dedicado a llevar a cabo las actividades relacionadas con el PM podría ser utilizado para la producción. Segundo, la ejecución de estos planes de PM puede aumentar la probabilidad de fallas para el área de Producción, dado que en ocasiones asumimos un riesgo al intervenir un equipo que se encuentra en funcionamiento normal, atribuibles normalmente a errores de ejecución por parte del personal interviniente, lo cual produce un comportamiento no deseado en el equipo. Sin embargo, invertir tiempo en realizar PMs reducirá interrupciones no programadas (Díaz-Reza et al., 2019).

Lamentablemente, por su cultura un alto porcentaje de empresas dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo y que no se plantean si esa es la forma en la que se obtiene un máximo beneficio (objetivo último de la actividad empresarial). Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que estas técnicas están muy bien en el campo teórico, pero que en su planta no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento (Garcia Garrido, 2003).

Este trabajo promoverá un cambio en la gestión y planificación del mantenimiento preventivo anual de los equipos, fomentando así un aumento de productividad y una reducción de los costos asociados, ambos aspectos vitales para la sustentabilidad del negocio.

Dichos costos asociados al departamento de mantenimiento son un rubro importante dentro del balance general de las empresas. El mayor porcentaje de los activos de una organización está representado por tierra, edificios y equipos, los cuales tienen un impacto directo sobre el valor neto de la compañía y la habilidad de ella para generar utilidades (Alberto et al., 2009).

También, buscará promover un uso inteligente de los recursos a través de técnicas de mantenimiento predictivo. Para ello, planteará los pasos necesarios para la estimación y predicción de Reliability, Availability and Maintainability (RAM) de los equipos.

1.3. Objetivos y Contribuciones

Este trabajo contribuye a la literatura existente sobre la planificación del mantenimiento aplicado a la industria. Luego del análisis exhaustivo de los datos

relevados, desarrollaremos el método de planificación y programación de las actividades de mantenimiento. A posteriori, calcularemos los indicadores de costos, cantidad de fallas y horas de paros, entre otros, para evaluar la efectividad de las acciones implementadas.

Adicionalmente, se entregará un documento con un conjunto de tareas de mantenimiento programado que se deberán realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. El mismo es un documento vivo, dado que sufre continuas modificaciones fruto del análisis de las incidencias que los eventos de la planta tienen en los equipos y del estudio de los diversos indicadores de gestión (Garcia Garrido, 2003).

El objetivo de este proceso estructurado de planeamiento del mantenimiento preventivo anual buscará responder las siguientes preguntas:

- ¿qué impacto trae la incorporación de este método de planificación con referencia a la Disponibilidad y Confiabilidad en los equipos?
- ¿qué resultado obtenemos al aplicar herramientas estadísticas de análisis de fallas y mantenimiento predictivo, en los indicadores del área de Mantenimiento?
- ¿cómo este proceso puede ayudar a la racionalización de los costos de mantenimiento? ¿Como impacta en el costo por producto?
- ¿cuáles son las claves para sustentar este cambio cultural?

Para ello, este trabajo se centrará en el despliegue de los siguientes puntos:

- clasificación de los equipos según su criticidad
- relevamiento de fallas e historia clínica de los equipos
- desarrollo del programa de tareas de mantenimiento
- impacto en los indicadores
- gestión proactiva de los costos de mantenimiento
- aspectos culturales

Capítulo 2

2. Revisión de Literatura

Las secciones siguientes exploran la literatura disponible sobre los modelos de planificación y programación de Mantenimiento como así también técnicas utilizadas en TPM.

2.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Podemos definir al Mantenimiento Productivo Total (TPM) como un programa que se enfoca en mejorar la tasa de utilización de las instalaciones, reduciendo las averías en máquinas mediante la integración del mantenimiento preventivo (G. Fandel - G. Zapfel, 2019).

En una empresa se requieren importantes inversiones de capital para fabricar casi todos los bienes con importancia económica. La productividad de estas inversiones permite competir a empresas y naciones. En este sentido, el mantenimiento de inversiones de capital implica importantes gastos recurrentes. Por ejemplo, en 1991, los gastos de DuPont en el mantenimiento de toda la empresa eran aproximadamente iguales a sus ingresos netos. Estos gastos varían según el tipo de industria; sin embargo, son típicamente entre 15% y 40% de los costos de producción. Por su lado, las empresas intentan controlar los costos de mantenimiento a un nivel de presupuesto específico, nivel que a menudo se basa en los gastos del año anterior (Swamidass Paul, 2003).

Durante la última década, los fabricantes encontraron que este enfoque era insuficiente. Las empresas han invertido en programas como Just in Time (JIT) y Total Quality Management (TQM) en un esfuerzo por aumentar las capacidades organizativas, pero los beneficios de estos programas a menudo se han visto limitados por equipos poco fiables o inflexibles. En el contexto del uso de JIT y TQM, el mantenimiento, en lugar de ser visto simplemente como un gasto que debe controlarse, ahora se considera una herramienta competitiva y estratégica.

El TPM ha evolucionado como un programa eficaz para mejorar el rendimiento de los equipos y aumentar las capacidades productivas. A medida que la tecnología de los equipos de producción se vuelve más sofisticada, es esencial que los operadores y

el personal de mantenimiento dispongan de las herramientas y la formación necesaria para soportar las nuevas demandas de los equipos. También es importante que el personal de producción aproveche las nuevas tecnologías de mantenimiento, como el análisis de vibración y termografía infrarroja, que se han convertido en medios útiles para predecir y diagnosticar problemas en los equipos. Por su parte, las tendencias en las técnicas y procesos de manufactura hacen relevante mantener el equipo en condiciones ideales de funcionamiento para maximizar rendimientos y competir efectivamente a nivel global. Por lo tanto, el TPM ha surgido como resultado de un mayor enfoque corporativo en hacer un mejor uso de los recursos disponibles (Swamidass Paul, 2003)

En general, los beneficios que surgen de la implementación se han catalogado según el área donde impactan directamente como productividad, calidad, costo, entrega, seguridad y moral (Díaz-Reza et al., 2019). En esta investigación, los beneficios se han clasificado en las siguientes categorías:

- Beneficios generales: son aquellos que incluyen todas las actividades que brindan un mejor clima laboral tanto a los empleados como a los socios de la empresa, siendo algunos de los aspectos relevantes:
    - ambiente de trabajo
    - moral de los empleados
    - cultura del trabajo
    - cultura de aprendizaje
    - redes de comunicación

- Beneficios de productividad: se consideran aquellas actividades que permitan incrementar el desempeño, así como la confiabilidad de la máquinas y equipos; por tanto, estas mejoras contribuyen a la reducción de defectos, lo cual se traduce en una mejor calidad de los productos. Algunas de las actividades de esta sección incluyen:
    - eliminar pérdidas
    - mejorar la fiabilidad y disponibilidad de equipos
    - reducir los costos de mantenimiento
    - mejorar la calidad del producto
    - incorporar tecnología y competitividad

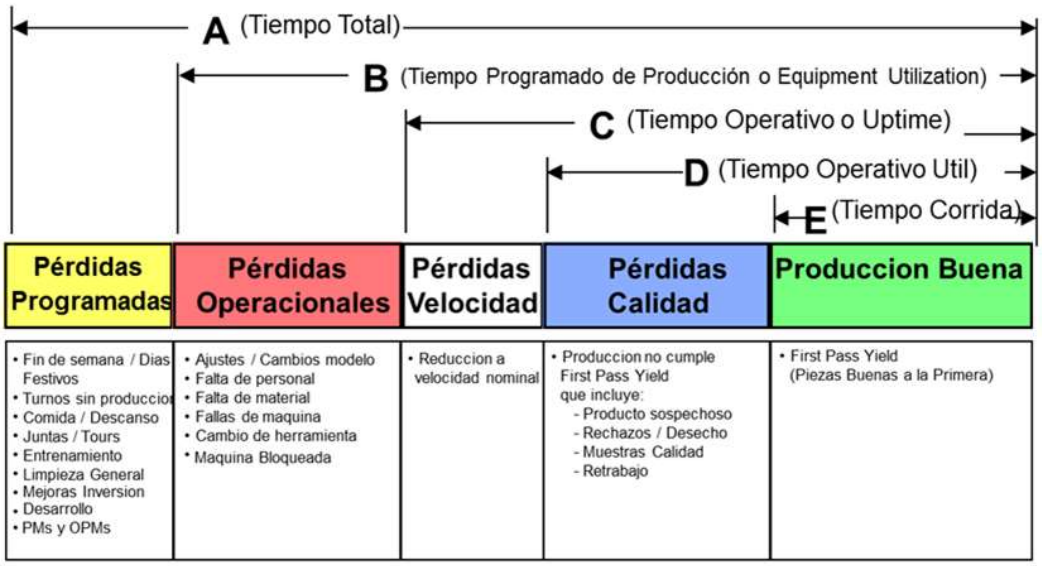
- Beneficios de seguridad y medio ambientales: la seguridad es un elemento crucial dentro de las áreas de trabajo porque en un lugar seguro los trabajadores

se sentirán más cómodos y realizarán las actividades de mejor manera. El TPM no solo brinda beneficios a los trabajadores y la empresa, sino que también busca conectarlos con preocupación y compromiso con el medio ambiente. Además, el TPM beneficia la seguridad global al enfocarse en los siguientes elementos:

- condiciones ambientales
- cultura de prevención de accidentes
- identificación y resolución de problemas

2.2. Indicadores del Mantenimiento Productivo Total

Además de la conocida teoría de la confiabilidad, basada en: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, el TPM introduce una visión bastante ampliada a través de un nuevo indicador de análisis llamado Overall Equipment Effectiveness (OEE). Dicho indicador tiene en cuenta la disponibilidad, calidad y eficiencia en el desempeño. La Figura 2.2.1 representa gráficamente su composición.



$$OEE, OPE = \frac{Tiempo\ Corrida}{Tiempo\ Programado} = \frac{E}{B} = \frac{C}{B} * \frac{D}{C} * \frac{E}{D} = Disponibilidad * Eficiencia * Calidad$$

Figura 2.2.1: Interpretación gráfica de OEE

Fuente Industrias Tractor Green Argentina

Aquí,

$$Disponibilidad = \frac{\text{tiempo de actividad del equipo}}{\text{tiempo de actividad} + \text{tiempo de inactividad del equipo}} \quad (2.1)$$

$$Eficiencia = \frac{\text{tiempo de ciclo teórico}}{\text{tiempo de ciclo real}} \quad (2.2)$$

$$Calidad = \frac{\text{total de productos producidos} - \text{productos defectuosos}}{\text{total de productos producidos}} \quad (2.3)$$

Cualquier proceso de mejora requiere la medición de rendimiento, para lo cual la elección de las métricas adecuadas es relevante. En este sentido, el OEE es una combinación de mantenimiento operativo, gestión de equipos y recursos disponibles que expresan el enfoque global del TPM. La meta de TPM es maximizar la efectividad del equipo y el OEE se utiliza como medida de este parámetro (Manzini et al., 2010)

El OEE puede variar en diferentes sectores empresariales e industrias, pero podemos decir que un OEE de clase mundial debería establecerse entre 0,80 - 0,85, multiplicando aproximadamente una tasa de disponibilidad de aproximadamente 0,92 - 0,94, una producción con tasa de eficiencia de aproximadamente 0,90 - 0,92, y una tasa de calidad de aproximadamente 0,98 - 0,99. (Manzini et al., 2010)

2.3. Confiabilidad de equipos

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento nunca debe fallar, en teoría; sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores diseños, montajes y mantenimientos fallan alguna vez (Alberto et al., 2009).

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno. La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que determinan su

estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones específicas (Alberto et al., 2009).

Para medir la confiabilidad (R) podemos basarnos en los indicadores de MTBF (Mean Time Between Failures) y MTTR (Medium Time To Repair), para ello podemos utilizar las siguientes expresiones:

$$\mathrm{R} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 \tag{2.4}$$

Donde,

$$\mathrm{MTBF} = \frac{Horas\ de\ marcha}{Cantidad\ de\ paradas} \tag{2.5}$$

$$\mathrm{MTTR} = \frac{Tiempo\ de\ reparación}{Cantidad\ de\ paradas} \tag{2.6}$$

2.3.1. Curva de confiabilidad

La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión:

$$P_f = \left(\frac{n}{N}\right) \tag{2.7}$$

donde,

n evento(s) de falla (en confiabilidad) por estudiar,

N número total de eventos posibles,

P_f es la probabilidad de falla.

Tomando el límite, tenemos:

$$P_f = \lim_{N \to \infty} \left(\frac{n}{N}\right) \tag{2.8}$$

donde,

P_f se define como la probabilidad de que ocurra el evento de falla *n* ante una serie grande o infinita *N* de eventos posibles.

Alternativamente, la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia en un tiempo *a*, siendo P_f la probabilidad de falla en ese mismo tiempo *a*, resulta:

$$R_a = 1 - P_f \tag{2.9}$$

La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de que transcurre un tiempo *t* en un período *T* total. Consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de que transcurre un determinado tiempo,

$$R(t) = P\ [t < T] \tag{2.10}$$

donde,

R(t) es la función de confiabilidad o supervivencia, la cual decrece en la medida en que se incrementa el tiempo, *R(0)=1* implica que siempre la confiabilidad de cualquier elemento antes de iniciar su funcionamiento es del 100%; *t* es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento, considerando que, todo elemento o máquina siempre entra en estado de falla, así sea en un tiempo grande o infinito. (Alberto et al., 2009).

En la Figura 2.3.1 la función de confiabilidad permite responder la pregunta, ¿Cuál es la probabilidad de que la máquina dure más de 250 horas sin fallas en la función R(t)= P(T>t)? Si se toma el punto para R(250) = P[T>250], expresa que la probabilidad de que un elemento dure más de 250 horas sin fallar es del 25,52%. Si se hace la lectura para múltiples elementos similares o equipos no reparables se expresa que después de 250 horas deben funcionar correctamente más del 25,52% de ellos; como también se visualiza que existe una probabilidad del 98,78% de que un elemento entre en falla antes de 400 horas.

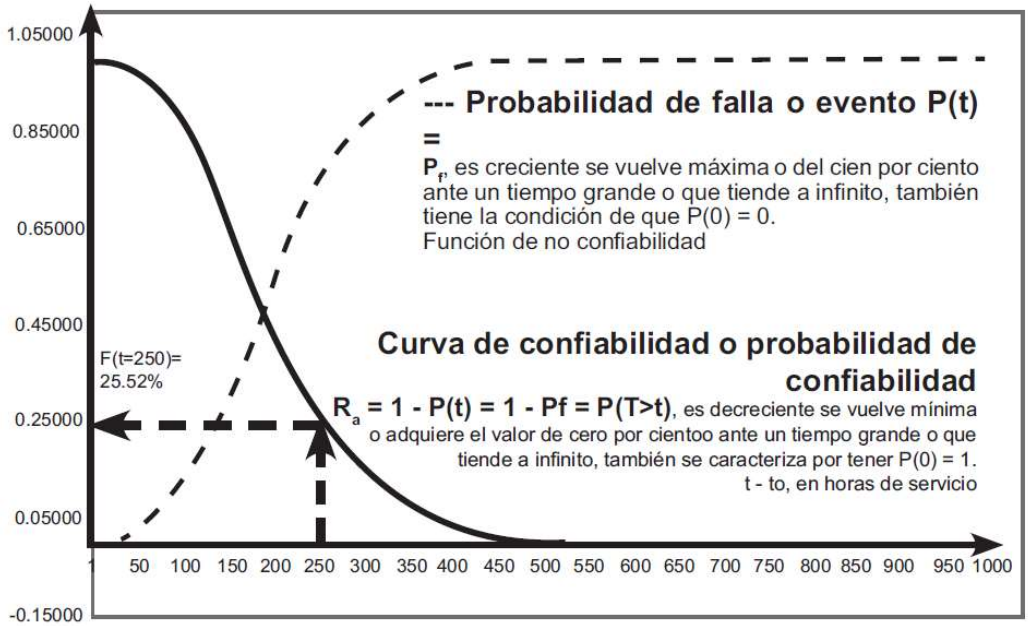


Figura 2.3.1: Curva de confiabilidad y de probabilidad de falla para distribución Weibull

Fuente (Alberto et al., 2009)

2.4. Mantenibilidad

Se denomina mantenibilidad a la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva, mediante una reparación que implica realizar tareas de mantenimiento para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción. La mantenibilidad se asocia a la facilidad con que un elemento o dispositivo se puede restaurar a sus condiciones de funcionalidad establecidas, lo cual implica tener en cuenta todas las características y hechos previos ocurridos antes de alcanzar ese estado de normalidad, tales como diseño, montaje, operación, habilidades de los operarios, modificaciones realizadas, reparaciones y mantenimientos anteriores, capacidad de operación, confiabilidad, entorno, legislación pertinente, calidad de los repuestos, limpieza, impacto ambiental que genera, etc., que influyen directamente en el grado de mantenibilidad de un equipo (Alberto et al., 2009).

En síntesis, se puede afirmar que la confiabilidad permite establecer y medir cómo actúa el área de Producción en la administración y explotación de los equipos para generar bienes y servicios y, por otro lado, la mantenibilidad evalúa la gestión y la operación del mantenimiento que se realiza a esos elementos o máquinas. La

disponibilidad es el adjetivo calificativo integral de las dos áreas actuando conjuntamente. La confiabilidad es responsabilidad de producción, la mantenibilidad es compromiso de mantenimiento y la disponibilidad es encargo de la gerencia o dirección que está por encima de ambas y que abarca probablemente otras áreas de la compañía (Alberto et al., 2009).

Una falla de un sistema se define como un evento que provoca la pérdida total o parcial de la capacidad de un equipo para realizar las funciones para las cuales se diseña. Durante su vida, una máquina o un dispositivo se pueden encontrar en uno de los dos posibles estados (mutuamente excluyentes): SoFu - Estado de funcionamiento normal o SoFa – Estado de falla. La Figura 2.4.1 esquematiza lo antes descripto.

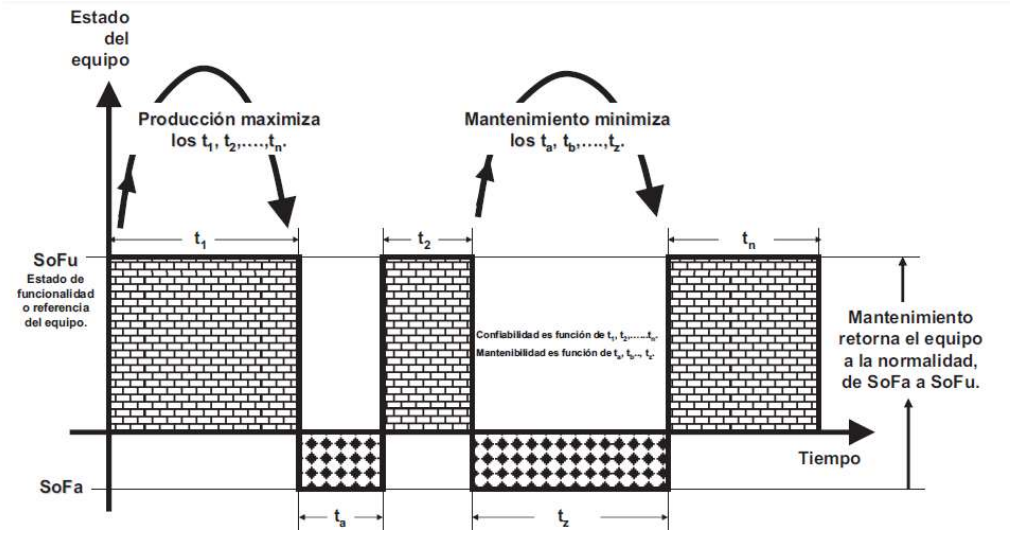


Figura 2.4.1: Relación estados falla (SoFa) (mantenibilidad) y funcionamiento (SoFu) (confiabilidad)

Fuente: (Alberto et al., 2009)

2.5. Método de priorización Jack Knife

Este método está basado en la dispersión logarítmica, y puede ser usado como una técnica de priorización en la clasificación de fallas que afectan los equipos. Utiliza como base el (MTTR) y la cantidad de fallas relacionadas con el equipo, relacionando en la práctica las siguientes expresiones:

$$\lambda = \text{tasa de fallas} = \frac{cantidad\ de\ fallas}{\text{tiempo total de observación}} \tag{2.11}$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{tiempo total de observación}}{cantidad\ de\ fallas} \tag{2.12}$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{tiempo total de reparaciones}}{cantidad\ de\ fallas} \tag{2.13}$$

$$\text{Indisponibilidad} = \lambda * \text{MTTR} = \frac{tiempo\ total\ de\ reparaciones}{\text{tiempo total de observación}} \tag{2.14}$$

En una tabla Excel (ver anexo G), registramos las frecuencias y duración de las fallas en los subsistemas del equipo, calculando la Tasa de Fallas, el MTTR y la Indisponibilidad

Utilizando estos datos, se puede obtener un gráfico dividido en 4 cuadrantes como el de la Figura 2.5.1. Cada cuadrante representa:

- Inferior derecho - fallas crónicas: bajo tiempo de reparación; pero alta frecuencia.
- Superior derecho - fallas aguda o crítica: alto tiempo de reparación y alta frecuencia.
- Superior izquierdo - fallas agudas: falla controlada, equipo con mucho tiempo fuera de servicio.
- Inferior izquierdo - falla leve: bajo tiempo de reparación y baja frecuencia.

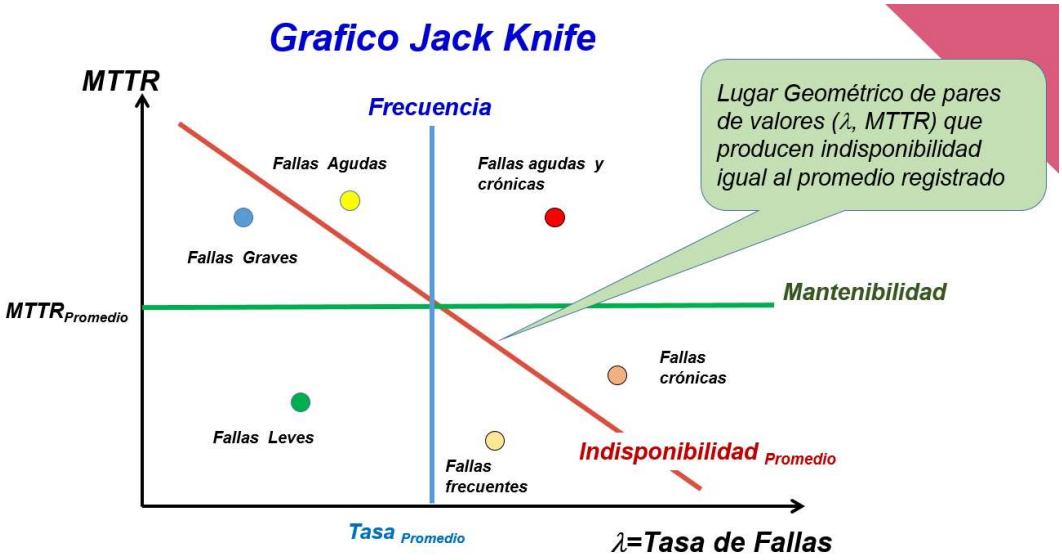


Figura 2.5.1: Interpretación grafico Jack Knife

Fuente: Método Jack Knife MGO - Jorge Gallo – Universidad Austral

2.6. Estrategias de Mantenimiento

Durante las últimas décadas, investigadores académicos y practicantes de empresas industriales desarrollaron varias reglas y técnicas de planificación y gestión de las actividades de mantenimiento en sistemas de producción. Según Manzini et al., 2010, estos modelos y métodos de toma de decisiones se pueden clasificar de acuerdo con una de las siguientes filosofías de mantenimiento.

2.6.1. Mantenimiento correctivo (CM)

Se realiza cuando el sistema de producción deja de funcionar correctamente, de acuerdo con un conjunto de condiciones de funcionamiento conocidas. No hay planificación de estas actividades para optimizar el mantenimiento de equipos y apoyar las decisiones de gestión.

Esta estrategia está influenciada por la existencia de repuestos en stock y el sistema de gestión adoptado. El costo de una acción de mantenimiento de averías obviamente depende de la disponibilidad de piezas necesarias para realizar la acción de reparación.(Manzini et al., 2010)

2.6.2. Mantenimiento preventivo (PM)

Se trata de acciones planificadas realizadas para enfrentar y contrarrestar fallas potenciales en un componente y/o sistema. El tiempo, frecuencia, y resultado de una acción de mantenimiento preventivo debe estar debidamente planificada y optimizada, maximizando el rendimiento del sistema de producción y minimizando costos.

Se supone que una estrategia de mantenimiento preventivo se puede realizar sólo con el continuo conocimiento de las condiciones de funcionamiento del sistema, que puede ser correcto cuando se respetan un conjunto de especificaciones predefinidas.

La primera clase de mantenimiento preventivo es el llamado mantenimiento preventivo basado en estadísticas y confiabilidad, que se refiere principalmente al análisis de los registros históricos de los equipos. Dos enfoques ampliamente utilizados para esta estrategia son las acciones basadas en el uso, realizadas en horas de funcionamiento del componente/sistema, y las acciones basadas en el tiempo, realizadas en base al calendario.

Otra clase especial de mantenimiento preventivo es el basado en condiciones (el llamado mantenimiento predictivo), que se lleva a cabo sobre la base del seguimiento continuo y el conocimiento de las condiciones operativas y el rendimiento del equipo. En particular, un conjunto de parámetros de funciones relevantes del sistema se monitorea en línea o fuera de línea, detectando un deterioro o degradación en el desempeño funcional del componente y/o sistema.(Manzini et al., 2010)

Como ya hemos mencionado, en el mantenimiento preventivo, la primera cuestión crítica es identificar las tareas que se deben realizar para prevenir fallas y reducir los tiempos de inactividad. Una vez finalizada esta tarea, el segundo nivel de decisiones se ocupa de la planificación y programación de las acciones de mantenimiento.

2.7. Planificación de mantenimiento

La planificación es el proceso mediante el cual los elementos necesarios para realizar una tarea se determinan antes de la hora de inicio del trabajo. La programación se ocupa de asignar los trabajos que deben realizarse en un momento específico. Está claro que una buena planificación es un requisito previo para una programación sólida; sin embargo, para una planificación exitosa, es necesaria la retroalimentación de la programación. (Duffuaa & Raouf, 2015).

Por su lado, la demanda de trabajos de mantenimiento tiene más variabilidad que la producción, siendo esta de naturaleza aleatoria. A su vez, estos trabajos tienen más volatilidad entre ellos, incluso el mismo tipo de trabajo difiere mucho en contenido. Esto hizo que fuera más difícil desarrollar estándares de trabajo en mantenimiento que en producción. Además, esta planificación del mantenimiento requiere la coordinación entre muchos departamentos de una organización, como los de materiales, operaciones e ingeniería, y en muchas situaciones, es una de las principales causas de retrasos y cuellos de botella.

Las razones anteriores requieren un tratamiento diferente para la planificación y programación del mantenimiento, siendo ambas fundamentales para una buena gestión del mantenimiento. Una planificación y programación efectivas contribuyen significativamente a:

- reducir los costos de mantenimiento,
- mejorar la utilización de la fuerza laboral de mantenimiento al reducir retrasos e interrupciones,

- mejorar la coordinación y facilitar la supervisión,
- mejorar la calidad del trabajo de mantenimiento mediante la adopción de los mejores métodos, procedimientos y la asignación de los oficios más calificados para el trabajo.

Entre los principales objetivos de planificación y programación podemos citar:

- minimizar el tiempo de inactividad de las fuerzas de mantenimiento,
- maximizar el uso eficiente del tiempo de trabajo, materiales y equipos,
- mantener el equipo operativo a un nivel que responda a las necesidades de producción en términos de cronograma de entrega y calidad.

De hecho, casi todo el mantenimiento debe planificarse y programarse. Solo se realizan trabajos de emergencia sin planificación previa, por ello, el trabajo de emergencia debe planificarse a medida que avanza.

El sistema de gestión de mantenimiento debe tener como objetivo que más del 90% del trabajo de mantenimiento se planifique y programe para aprovechar los beneficios de la planificación y la programación. (Duffuaa & Raouf, 2015)

2.7.1. Plan de Mantenimiento

Una vez elaborada la lista de equipos, se deben codificar, y analizar el modelo de mantenimiento que mejor se ajusta a cada uno, para luego estar en condiciones de definir el Plan de Mantenimiento a aplicar en la planta.

Para ello resulta crítico identificar las tareas que se deben realizar para prevenir fallas y reducir los tiempos de inactividad, para lo cual, el mantenimiento preventivo define una serie de tareas, llamadas acciones de mantenimiento planificadas, que buscan atacar las causas conocidas de fallas potenciales que se pueden presentar durante el uso de los equipos. Para ello primeramente debemos clasificar los equipos según su criticidad para luego definir los planes de mantenimiento.

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa. Pero, ¿cómo

diferenciamos los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando tratamos de hacer esta distinción, estamos realizando el análisis de criticidad de los equipos de la planta, distinguiéndolos por sus niveles de importancia o criticidad y definiendo los mismos según su impacto en Seguridad, Medio Ambiente, Costo y Producción.

Según su criticidad, los equipos pueden clasificarse en:

A) Equipos críticos. Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afectan significativamente los procesos productivos, deteniendo casi de inmediato el proceso de producción e impidiendo satisfacer las necesidades del cliente.

B) Equipos importantes. Si bien la avería o mal funcionamiento afectan a los procesos productivos, las consecuencias son asumibles. Éstos pueden verse afectado si la reparación no se puede completar dentro de un tiempo establecido, continuando un proceso paralelo o de contingencia.

C) Equipos prescindibles. Son aquellos con una incidencia escasa en los procesos productivos. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño costo adicional.

La Figura 2.7.1 nos muestra un ejemplo del flujo de decisiones para la determinación de la criticidad de un equipo.

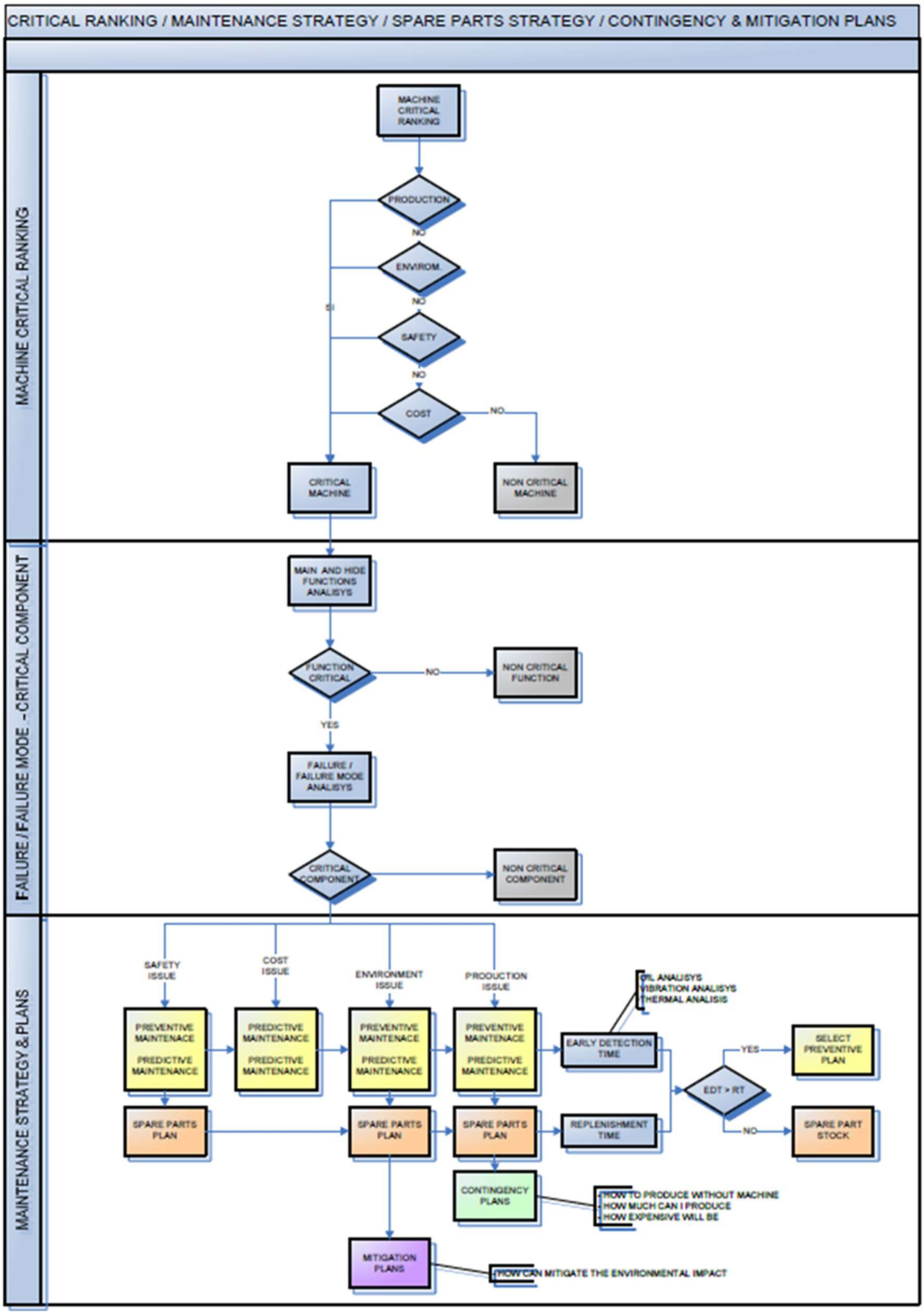


Figura 2.7.1: Flujo de decisión para criticidad de equipos.

Fuente: Industrias Tractor Green Argentina

Una vez realizada la clasificación de criticidad de equipos se comenzará a diagramar el Plan de Mantenimiento, el cual es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. La elaboración de dicho plan atraviesa una serie de fases que incluyen la descomposición de la planta en áreas, la elaboración de la lista de equipos, la descomposición de cada uno de ellos en sistemas y elementos, la codificación de dichos elementos, y la asignación de la estrategia de mantenimiento que mejor se adapta a las características del equipo y su función en el sistema productivo de la planta. Luego que el trabajo esté finalizado, se puede elaborar la lista de tareas que incluirá el Plan de Mantenimiento (Garcia Garrido, 2003).

Una vez elaborado el Plan de Mantenimiento, es necesario planificar la ejecución de este plan, cuándo y quién realizará cada una de las actividades y rutas o trayectorias que lo componen.

La planificación de las rutas diarias es muy sencilla, por lo que sólo será necesario determinar a qué hora se realizarán. La planificación de las rutas semanales exige determinar qué día de la semana se ejecuta cada una de ellas. Por su lado las rutas mensuales son algo más difíciles de programar y, en general, tendremos que hacerlo con cierto margen. Similarmente, las paradas anuales deben programarse con margen de maniobra, mayor incluso que las rutas mensuales. En este caso, puede ser conveniente programar el mes en que se realizará, aunque será muy importante determinar los equipos de la planta que serán parte de este plan.(Garcia Garrido, 2003)

2.7.2. Planificación de la parada de planta

Lo primero que debemos comprender es la necesidad de gestionar las paradas de planta, estas actividades están en conflicto con casi todo lo demás que está sucediendo en cualquier momento y si las ventajas no fueran tan grandes, nunca se producirían paradas. Los proyectos que implican paradas de equipos importantes son costosos en las actividades directas (dinero para mano de obra y piezas) y costosos en términos de pérdida de producción. En algunos casos, el valor de la producción perdida es un orden de magnitud mayor que los costos directos de la parada en sí.

Para tomar las mejores decisiones en la planificación y durante la ejecución de las paradas, es importante comprender qué es lo que hace que la empresa u organización funcione. Los proyectos de parada de planta y las estrategias de los

mismos surgen de una comprensión profunda de lo que más influye en el negocio, es decir, cuáles son los patrones dominantes (como el crecimiento, la mitigación de costos, la seguridad, la eficiencia, etc.).

Los proyectos de mantenimiento más pequeños generalmente no necesitan una justificación extensa, pero la mayoría de los proyectos de parada deben estar justificados y esta justificación en los trabajos de mantenimiento y reparación es evidente.

Los grandes proyectos, paradas y construcciones siguen procesos similares a los que se utilizan en la planificación de trabajos y proyectos de mantenimiento más cortos. La diferencia está en el rango del alcance del trabajo, el número de personas, el uso de contratistas, el número de contratistas, la coordinación entre áreas y el nivel de justificación. Por su parte, la planificación y programación para paradas importantes es una especialidad y por lo general, no es práctico que la misma persona planifique y programe la parada anual y simultáneamente los trabajos normales de la semana o diarios,(Levitt, 2004).

Un factor en la gestión de las paradas es la respuesta a la pregunta de por qué hacer una parada. Para ello hay varias razones y todas ellas se reducen de una u otra forma a un mejor desempeño de la planta. La necesidad de mantenimiento, como el reemplazo de activos gastados, es uno de los impulsores más comunes de las paradas. Esta necesidad puede basarse en la inspección del mantenimiento preventivo, el historial de fallas, incluso en las intuiciones.(Levitt, 2004).

Las etapas necesarias para que las paradas de planta satisfagan a sus clientes, jefes y a la alta dirección podemos describirlas en:

Fase 1 - Inicio: Esta fase responde las preguntas ¿qué y por qué? Establece el contexto dentro del cual todos los demás departamentos trabajarán. Se ejecuta una lista preliminar de las tareas para su revisión y para asegurar un acuerdo sobre los trabajos más importantes a realizar.

Fase 2 - Preparación: Toda la planificación está completa. Se define la organización para la parada luego que las partes interesadas han tenido sus aportes. La pregunta que responde esta fase es ¿cómo?

Fase 3 - Ejecución: El equipo táctico mantiene la mayoría de los trabajos avanzando hacia su finalización. Es la participación más grande del equipo de trabajo durante el período más intenso y corto.

Fase 4 - Cierre: Todos los elementos de la lista de tareas pendientes se han completado o se han aceptado como incompletos, los resultados están en línea con lo solicitado. En aquellos elementos incompletos se deberá realizar una replanificación durante el año para dar cierre a los mismos.

Fase 5 - Revisión: En este punto se revisan todos los archivos, crean índices y se decide qué conservar y qué descartar. Se escribe una narrativa de las lecciones aprendidas.

Una vez culminadas estas fases nos encontramos con el problema de cómo medir su éxito. Las mediciones del éxito son esenciales para el negocio y se convierten en indicadores claves de rendimiento (KPI), los cuales miden la efectividad en el mantenimiento de un equipo.

Capítulo 3

3. Caso de Estudio

3.1. Industrias Tractor Green Argentina (ITGA)

Si bien tiene presencia en Argentina desde finales del siglo XIX, Tractor Green Argentina SA produce localmente desde finales de la década del 50´. Ese momento marcó el punto de partida de la compañía en América del Sur, con la inauguración de la primera de sus fábricas en la región, ubicada al sur de la provincia de Santa Fe, como se detalla en la Figura 3.1.1 Desde entonces produce en forma ininterrumpida y continúa creciendo en el mercado local.

Figura 3.1.1: Ubicación geográfica de la planta.

Fuente: Google Maps

Actualmente, cuenta con una red de más de 30 firmas de concesionarios a lo largo del país que atienden los segmentos Agrícola, Construcción, Golf y Jardín, en más de 100 puntos de ventas.

Las líneas de montaje de motores, tractores, cosechadoras y plataformas tienen más de 60.000 m^2 cubiertos y se ubican en un predio de 60 hectáreas, donde funciona además la Administración General, la compañía financiera, el Centro de Distribución de Repuestos y el Centro de Entrenamiento.

En particular, la fábrica de motores produce en sus líneas motores diésel de 3, 4 y 6 cilindros, de 44 HP a 365 HP, ensayando el 100% de su producción en bancos dinamométricos. La mayoría de los motores son especialmente elaborados con sistemas de control de emisiones, para su exportación al mercado brasilero. Para ello se provee internamente de blocks y cabezas de cilindros producidos en sus líneas de mecanizado. Además del envío de motores al mercado de exportación, también abastece sus propias líneas de fabricación de cosechadoras y tractores para el mercado local.

Tractor Green se ha destacado desde sus orígenes no sólo por la calidad de sus productos y servicios sino también por la incorporación de tecnología en producción y diseño de nivel internacional orientados a cubrir las necesidades y requerimientos del productor local. En pos de cubrir estas necesidades, se ha experimentado un crecimiento de la demanda en las líneas de fabricación, lo que trajo aparejado la incorporación de nuevos equipos y tecnología de vanguardia. La Figura 3.1.2 detalla la evolución de la cantidad de equipos a los que el área de mantenimiento debe servir en cada unidad de negocio.

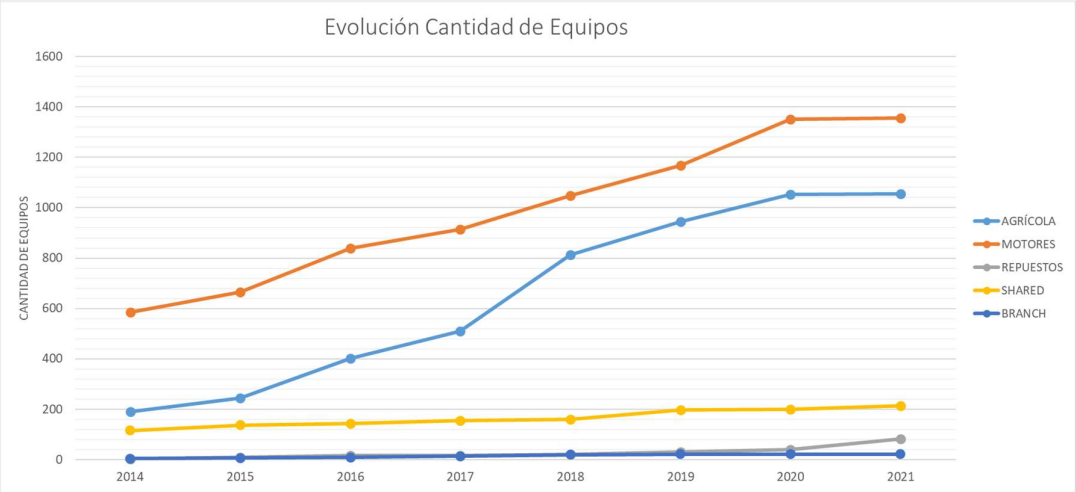


Figura 3.1.2 Evolución de equipos por negocio

Si bien desde 2016 a 2021 se evidenció un rápido crecimiento en el equipamiento de operaciones agrícolas, la operación de motores ha acompañado esta tendencia de manera más progresiva. Lo anterior llevó al área de Mantenimiento a un escenario

retador, no sólo por el aumento en la cantidad de equipos, sino también por el grado de tecnología adquirida que reenfoca a la empresa bajo el paradigma de Industria 4.0.

Por otra parte, durante los últimos años el área de Mantenimiento fue creciendo profesionalmente a través de la contratación de personal calificado y del desarrollo con capacitaciones, buscando acompañar los nuevos desafíos tecnológicos derivados de las líneas de producción que emplean, por ejemplo, vehículos auto guiados (AGVs) en motores, una celda autómata en mecanizado de cabezas de cilindros, entre otras tecnologías de vanguardia.

En ese contexto, este departamento ha invertido en entrenamientos específicos e incorporó nuevos equipos y herramientas en pos de realizar reparaciones altamente especializadas y de calidad.

3.2. Identificación del Problema

Como hemos descripto en la Sección 3.1, las operaciones de motores y agrícolas han evidenciado un continuo crecimiento en los últimos siete años. Por su lado, la operación de motores, eje de esta investigación, duplicó la cantidad total de equipos en los últimos 5 años alcanzando, a fines del 2020, un total de 1352 instalados en sus líneas de producción.

Para fines del 2020, la clasificación de criticidad de los equipos de la operación de Motores mostraba una distribución detallada en la Figura 3.2.1

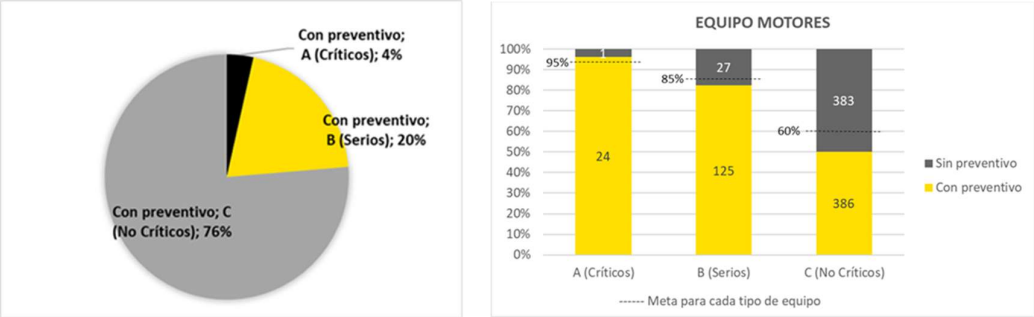


Figura 3.2.1: Distribución de equipos por grado de criticidad.

El escenario descripto anteriormente, nos enfrenta a un gran desafío dada la capacidad actual de los recursos del área de Mantenimiento. Sólo una eficaz planificación y programación a través de la confección de planes de mantenimiento

preventivos, tanto para los equipos nuevos como existentes, podrá mantener en valores óptimos la componente de Disponibilidad del OEE de las líneas productivas. Las Figuras 3.2.2 y 3.2.3 nos muestran la evolución de este indicador de la línea de Mecanizado de Block y Bancos Dinamométricos, ambas cuello de botella de la operación, el cual se encuentra por debajo del valor de clase mundial del 85%. Lo cual nos lleva a una pérdida de la capacidad instalada de estas líneas productivas, aumentando los costos debido a horas no planificadas de funcionamiento de equipos e instalaciones y mano de obra.

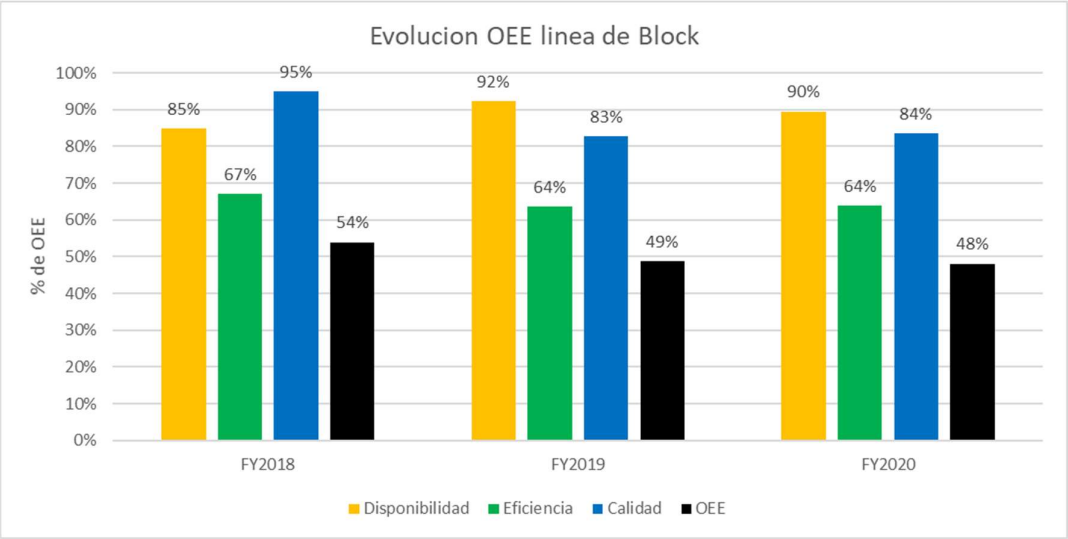


Figura 3.2.2: Evolución del OEE y sus componentes en la línea de mecanizado de Blocks de Cilindros

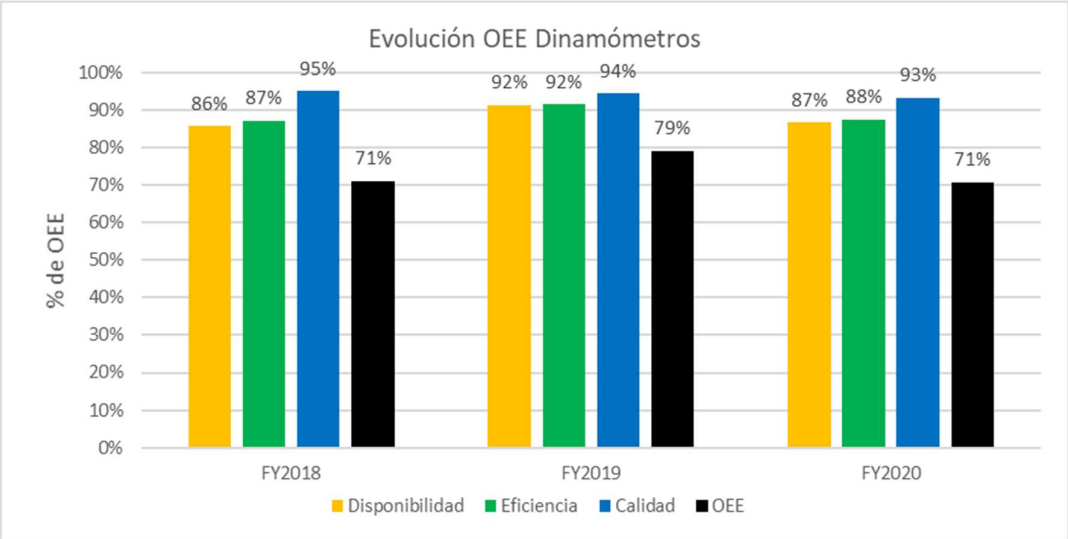


Figura 3.2.3: Evolución del OEE y sus componentes de Bancos Dinamométricos

Adicionalmente, se deberán mantener bajo control los costos de mantenimiento, los cuáles, si bien en los últimos años presentan una evolución positiva bajando los costos por motor producido, se han desviado del presupuesto debido principalmente a

la necesidad de adquirir repuestos de manera urgente y no planificada, muchos de ellos mediante importaciones aéreas. La Figura 3.6 nos muestra dicha evolución.

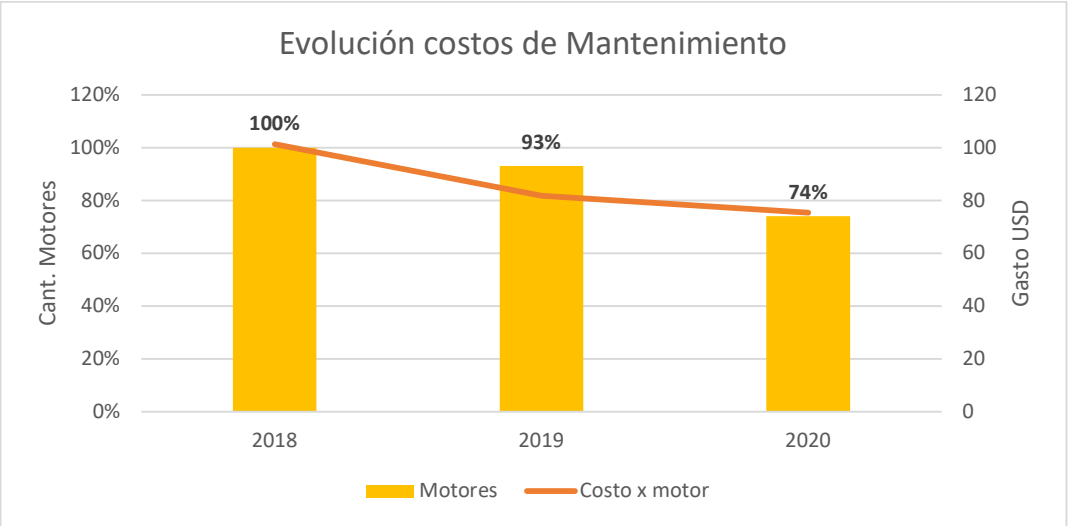


Figura 3.6 Evolución costos de Mantenimiento

El objetivo de esta investigación es entonces desarrollar un modelo de Planificación y Programación del Mantenimiento Preventivo durante la parada anual para resolver la situación antes descripta y poder así brindar sustentabilidad a las operaciones de manufactura de motores en Tractor Green Argentina.

En particular, el modelo de planificación desarrollado abordará la construcción de un proceso estructurado de planificación del Mantenimiento Preventivo Anual, el cuál desarrolle un programa de tareas de mantenimiento a partir de la clasificación de los equipos según su criticidad y el relevamiento de fallas e historia clínica de los mismos.

Para este modelo será necesario también realizar la evaluación de proveedores, analizando su performance y costos del servicio, de manera de tener la gestión de los costos de Mantenimiento proactivamente bajo control.

Capítulo 4

4. Adquisición y procesamiento de datos

Este capítulo describe las diferentes fuentes de datos recopiladas y consultadas para obtener información útil y precisa para alimentar el modelo de planificación. Estas fuentes son una combinación de tablas específicas de la empresa.

4.1. Datos del sistema de gestión

Estos datos proporcionan información relacionada a los diferentes registros de paradas de los equipos y su tiempo de duración, a través de los pedidos generados en el sistema informático integrado de gestión, SAP. Además, presentan detalles relevantes sobre tipo y descripción de los motivos de fallos.

Los datos extraídos de estos registros serán la base para el procesamiento de datos relacionados con los equipos y sus fallas asociadas para cada una de las áreas internas del negocio de fabricación de motores.

El Anexo A compila parcialmente estos datos y proporciona, entre otros, N° de orden de trabajo, personal asignado, tipo de trabajo principal, etc.; utilizados para las instancias de análisis.

Otros datos que vamos a incorporar a esta investigación son aquellos proporcionados por nuestros clientes internos, tales como, Operaciones, Ingeniería de Manufactura, Automación, Ingeniería de Planta y Mantenimiento.

La Figura 4.1.1 proporciona un mapa de flujo que esquematiza el proceso de pedidos de mantenimiento no planificado. Mientras que la Figura 4.1.2 muestra el proceso de pedidos de mantenimiento planificado.

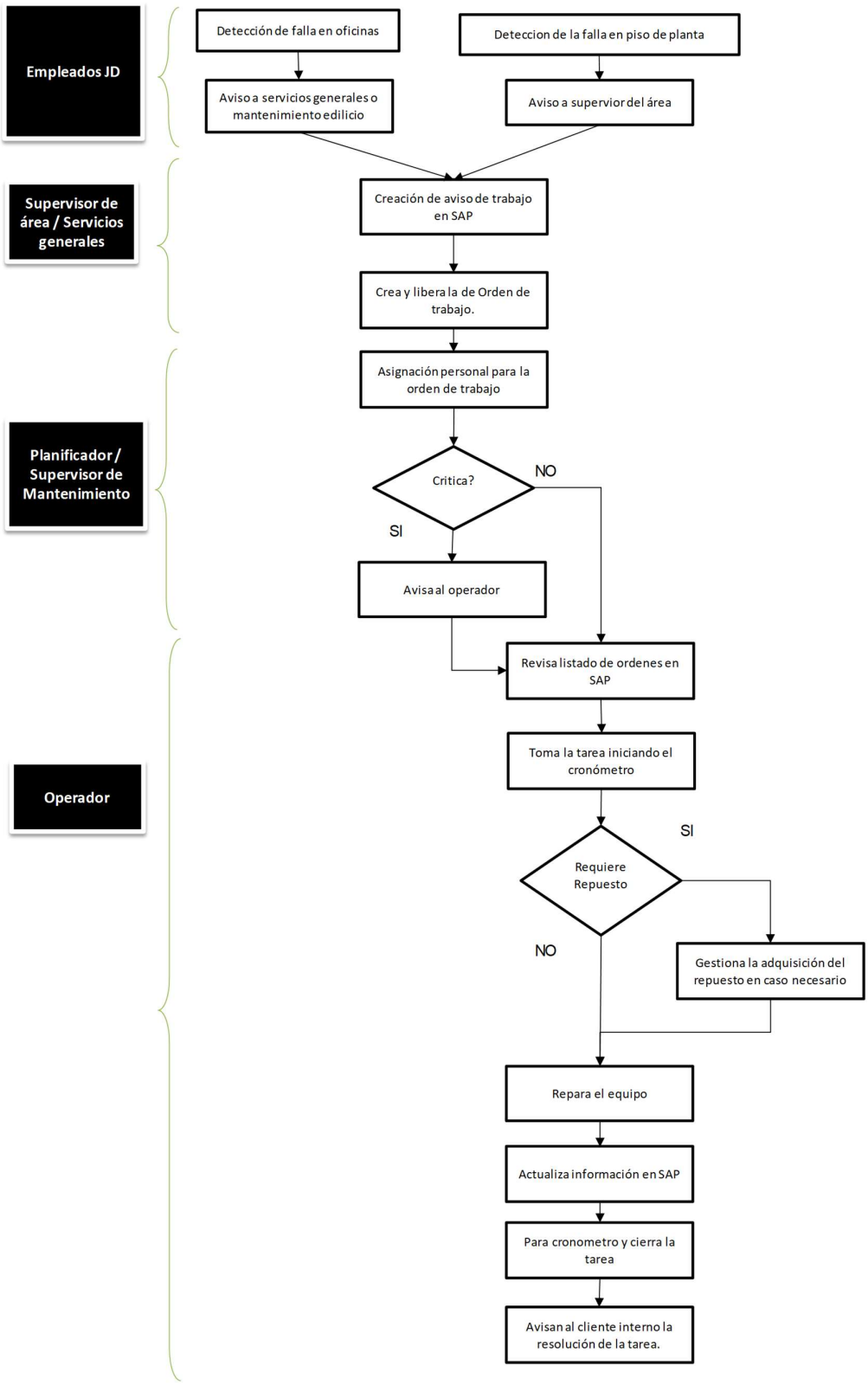


Figura 4.1.1: Flujo de proceso del Mantenimiento No Planificado

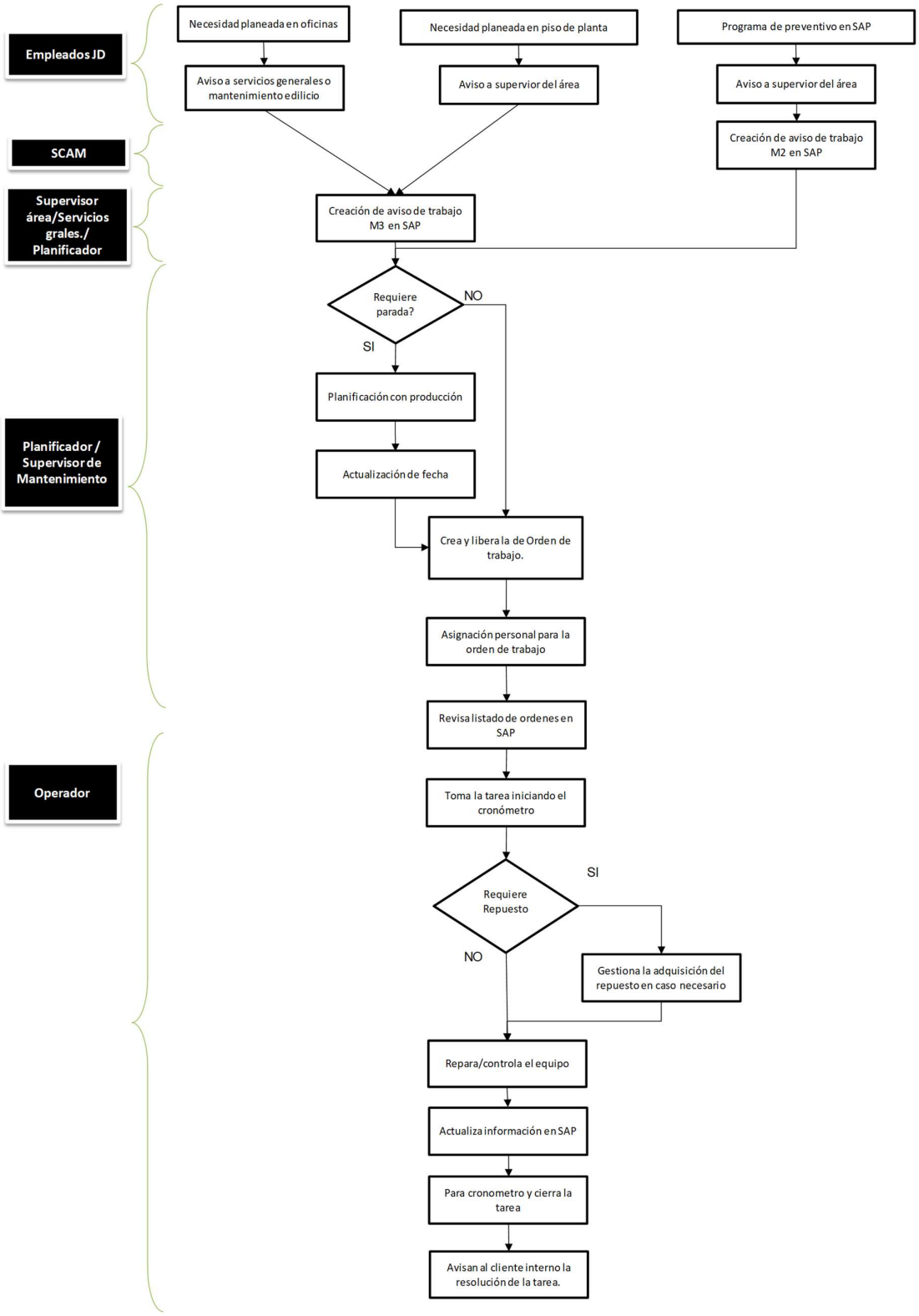


Figura 4.1.2: Flujo de proceso del Mantenimiento Planificado

4.1.1. Datos de Equipos

La base de datos de equipos es de importancia central para cualquier modelo de planificación de mantenimiento, ya que proporciona información vital para nuestro trabajo, como ser: criticidad, área funcional, (BOM) lista de materiales de repuestos, etc. La Figura 4.1.1.1 nos muestra un ejemplo de la BOM de repuestos de un equipo.

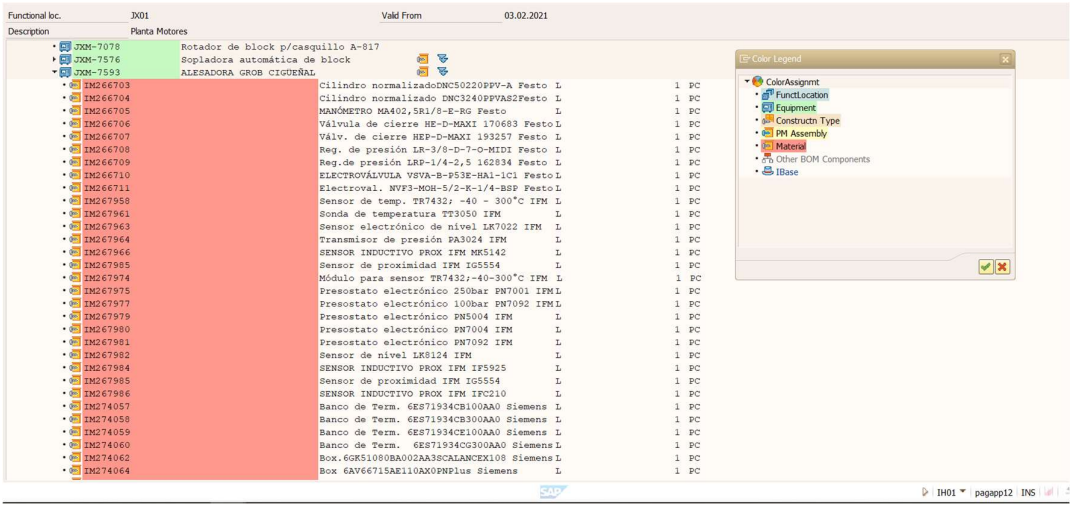


Figura 4.1.1.1: BOM de repuestos equipo Grob.

4.2. Procesamiento de datos

Las bases de datos nos proporcionan la información clave a considerar por nuestro modelo de planificación. De su procesamiento y análisis se deducen los diferentes fallos funcionales de los sistemas que componen cada uno de los equipos, como así también la determinación de los modos de fallo (eléctricos o mecánicos).

Tras el análisis de fallos funcionales, hemos logrado identificar los principales equipos con mayor tiempo de paradas y cantidad de fallos, las Figuras 4.2.1 y 4.2.2 nos muestran el resultado de dicho análisis con los datos del FY2020 para las líneas de mecanizado. El mismo ejemplo aplica para la línea de ensamble de motores.

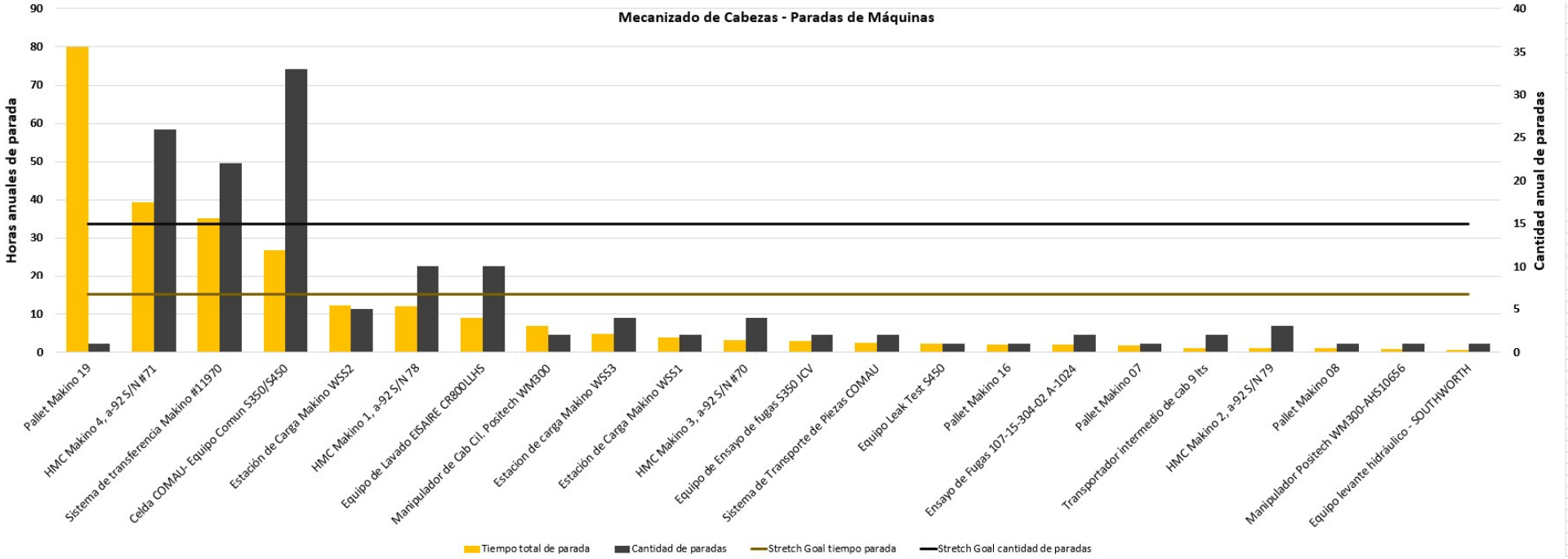


Figura 4.2.1: Tiempo y cantidad de paradas por equipo de Mecanizado de Cabezas.

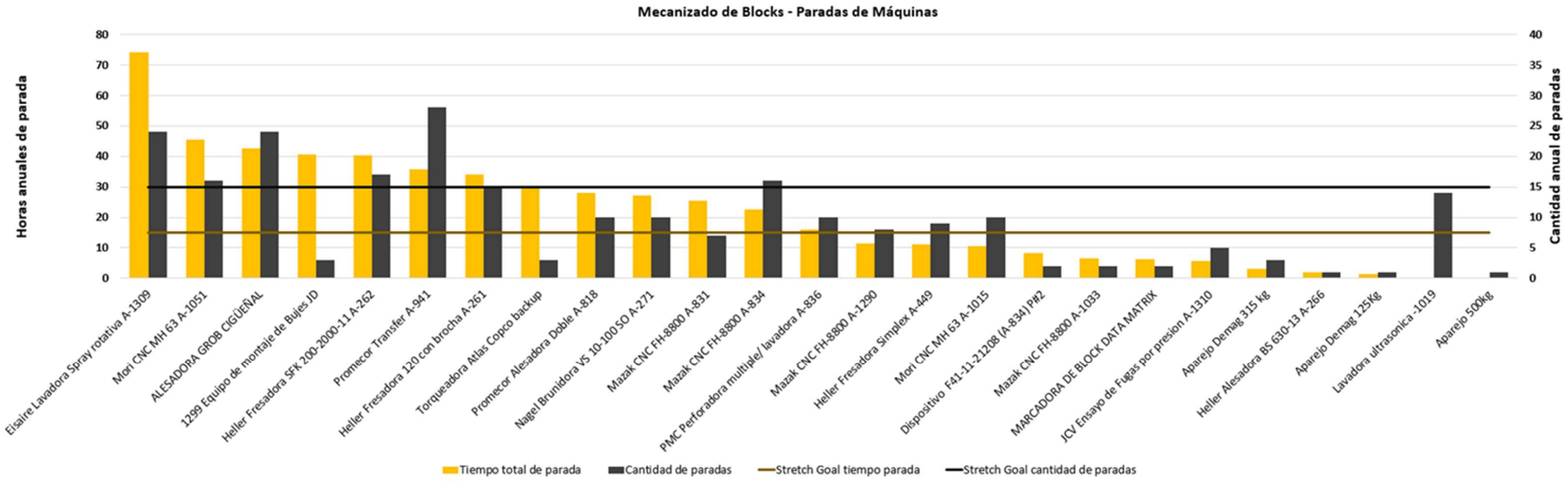


Figura 4.2.2: Tiempo y cantidad de paradas por equipo de Mecanizado de Block.

Para su análisis, establecimos metas (stretch goal) para la cantidad de horas y cantidad de paradas por equipo para cumplir las metas establecidas de MTTR y MTBF. Desde esta exploración de datos, logramos identificar aquellos equipos que durante el año 2020 no alcanzaron dichas metas, para luego incorporarlos al plan de mantenimiento anual durante la parada de planta.

Una vez obtenida esta lista de equipos hemos identificado sus respectivos modos de fallos (eléctricos y mecánicos). El Anexo B muestra el resultado de este estudio para los principales equipos y la Figura 4.2.3 proporciona un ejemplo para los equipos de la línea de Blocks.

Planning plant	JX01		
Sector	**Blocks**		
Suma de Breakdown dur.	**Etiquetas de columna**		
Etiquetas de fila	**ELECTRIC**	**MECANICO**	**Total general**
Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	54,05	18,97	73,02
Mori CNC MH 63 A-1051	15,46	25,29	40,75
Heller Fresadora SFK 200-2000-11 A-262	14,19	26,1	40,29
ALESADORA GROB CIGÜEÑAL	26,19	11,19	37,38
Promecor Transfer A-941	18,9	9,1	28

Figura 4.2.3 Modo de fallo por equipo de mecanizado de blocks.

Los Anexos C, D, E y F proveen ejemplos de los análisis realizados en los equipos principales con baja performance mediante el estudio de cada orden de trabajo de mantenimiento en SAP. La Figura 4.2.4 nos muestra la clasificación de fallas en cantidad de horas de uno de los equipos estudiados, en la cual se puede identificar el modo de falla y el impacto en cantidad de horas que fue afectado el equipo por la misma.

Los diferentes diagramas de Pareto nos ayudarán a determinar aquellas fallas más prioritarias a resolver, enfocando luego el plan de acción para cada una de ellas.

Un buen análisis de causa raíz utilizando herramientas como ser 5 ¿por qué? o diagrama espina de pescado, nos ayudarán a identificar correctamente el origen del problema.

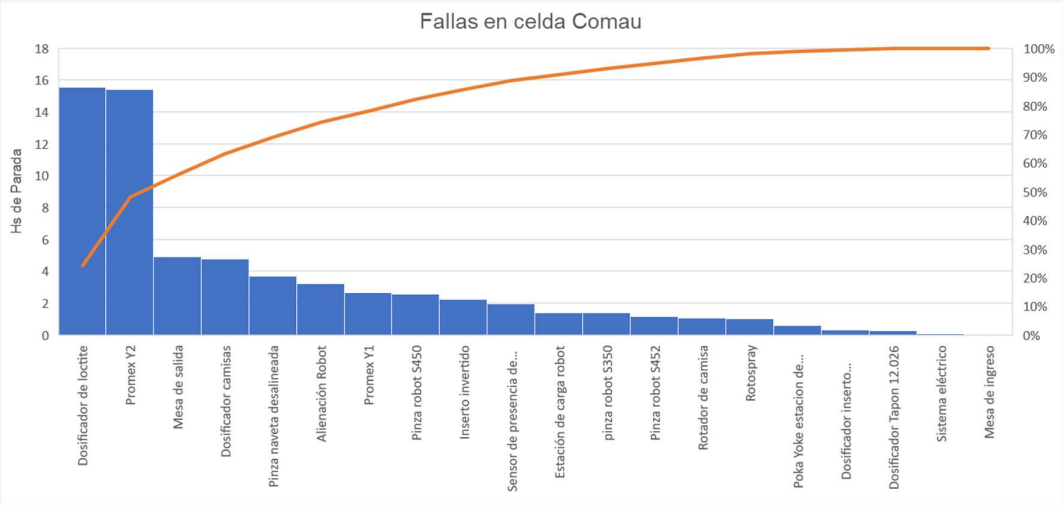


Figura 4.2.4: Tipo de fallas en equipo Comau por horas de paradas.

4.3. Datos de clientes internos y áreas soporte

Se necesitan fuentes de datos adicionales a considerar por nuestro modelo de planificación. En esta sección, detallaremos datos proporcionados por Operaciones y las ingenierías de Manufactura, Automación, Planta y Mantenimiento.

4.3.1. Operaciones

Al ser nuestro principal cliente interno, es importante cruzar los datos de nuestra base con los registros internos que puedan llevar estás áreas, tales cómo, pérdida de eficiencia por pequeñas pero frecuentes paradas de los equipos, incremento de los tiempos de ciclos por pérdida de velocidad en los mismos, como así también caída del OEE producto de bajos niveles de disponibilidad. Las Figuras 4.3.1.1 y 4.3.1.2 muestran ejemplos de informes para las diferentes líneas de producción.

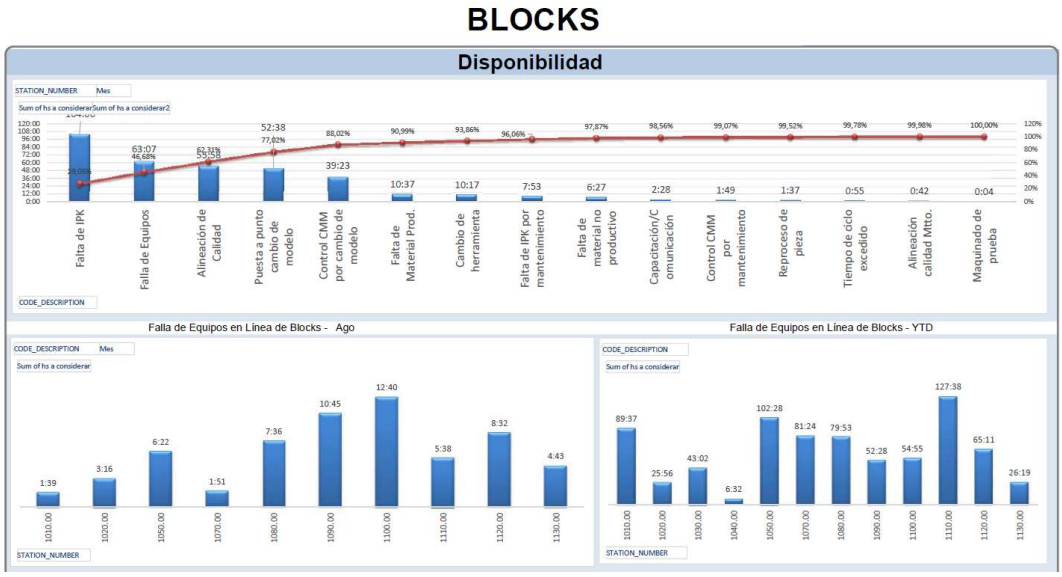


Figura 4.3.1.1: Informe mensual OEE línea de Blocks

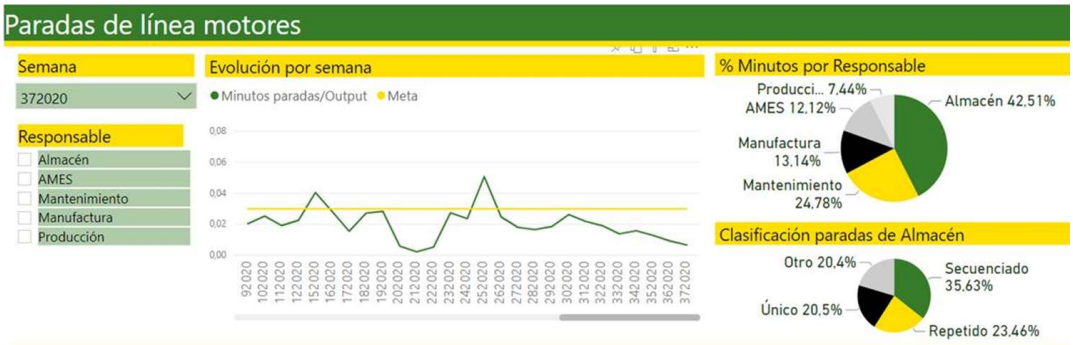


Figura 4.3.1.2: Informe semanal de paradas de línea de Motores

4.3.2. Ingeniería de Manufactura

Un buen plan de mantenimiento por sí solo no reduce a cero las averías, sino que comienza en el momento del diseño del equipo y en la decisión de compra. Un equipo o una instalación mal diseñada, por muy bien atendida que esté, siempre tendrá más posibilidad de sufrir fallos que una instalación con un diseño robusto. Es por ello, que las consultas hacia las áreas de Ingeniería de Manufactura resultan claves para el estudio de modificaciones en los equipos que eviten paradas por fallos en sus diseños. De lo contrario seguramente concluirán en una parada prolongada del mismo, por lo cual es importante considerarla durante la parada anual de fábrica.

4.3.3. Ingeniería de Automación y Control

Dado el avance exponencial en la tecnología disponible, otro punto importante en la gestión de mantenimiento es el estudio de obsolescencia de equipos. Aquí el rol del área de Ingeniería de Automación y Control es vital para mantener los sistemas de control e integración de los equipos actualizados. Así contar con una base de datos del tipo de tecnología aplicada en cada equipo es imprescindible. En esta área se distinguen proyectos de retrofit de tableros de control de equipos, controles numéricos, PLCs, entre otros.

4.3.4. Ingeniería de Mantenimiento

Unos de los principales pilares estratégicos de la gestión de Mantenimiento es llevar adelante proyectos de ingeniería, es por ello, que su participación en la planificación de tareas es tan importante. En algunos casos terminan liderando esta planificación durante la parada de planta. Sus proyectos buscan mejorar principalmente el indicador de MTBF, analizando la causa raíz de las fallas y eliminando las mismas con proyectos innovadores y de alto impacto.

Capítulo 5

5. Planificación y programación de mantenimiento anual

Este capítulo introduce un método de planificación y programación del mantenimiento anual, apalancándonos en el estudio y análisis desarrollado en el capítulo anterior. De aquí se obtiene el documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta.

5.1. Esquema de planificación

En las entradas para nuestra planificación, vamos a integrar información de las áreas externas al departamento mantenimiento como ser Calidad, Ingeniería de Planta, Ingeniería de Manufactura, IT, Operaciones y Control de Producción.

Por otra parte, desde el departamento Mantenimiento vamos a considerar los indicadores de MTTR y MTBF, estudios de obsolescencia de equipos, tareas pendientes de mantenimiento planificado, proyectos de mejora continua e ingeniería de mantenimiento.

Dado el volumen de información proporcionado, se deberá comenzar con la tarea de compilación de la información varios meses antes a la fecha prevista para realizar la parada. Esto es debido no solo al tiempo que demandará el análisis de los datos proporcionados por cada área, sino también para tener el tiempo suficiente para que la programación de la parada sea exitosa.

La Figura 5.1.1 muestra un diagrama con los diferentes inputs para realizar la planificación, por su lado la Figura 5.1.2 nos proporciona los outputs hacia las áreas de Compras (y los mismos Proveedores), Recursos Humanos, Seguridad e Higiene y Control de Producción, los cuales asumen un rol importante en la programación de la parada.

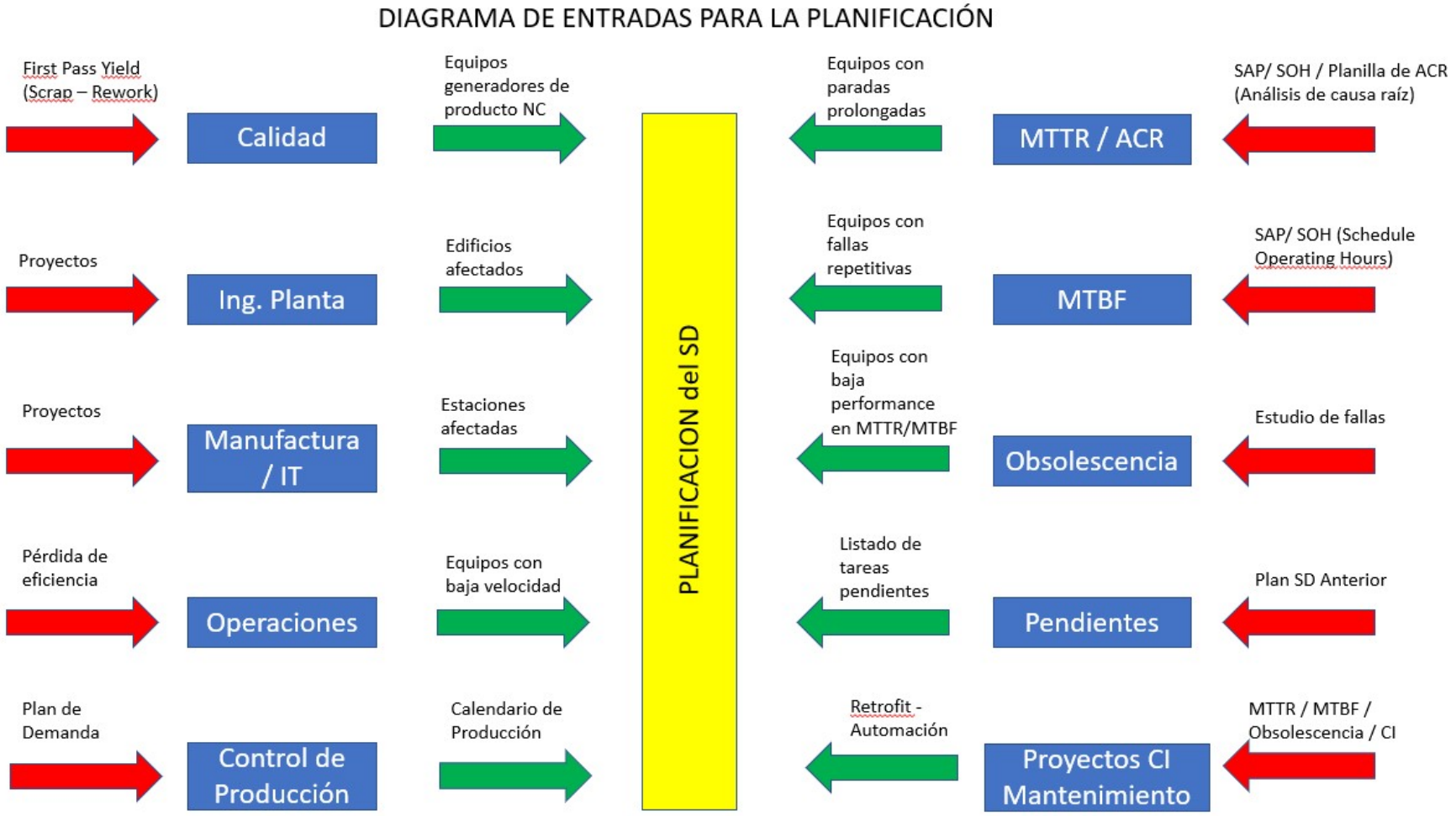


Figura 5.1.1: Esquema de entradas para la planificación de la parada anual.

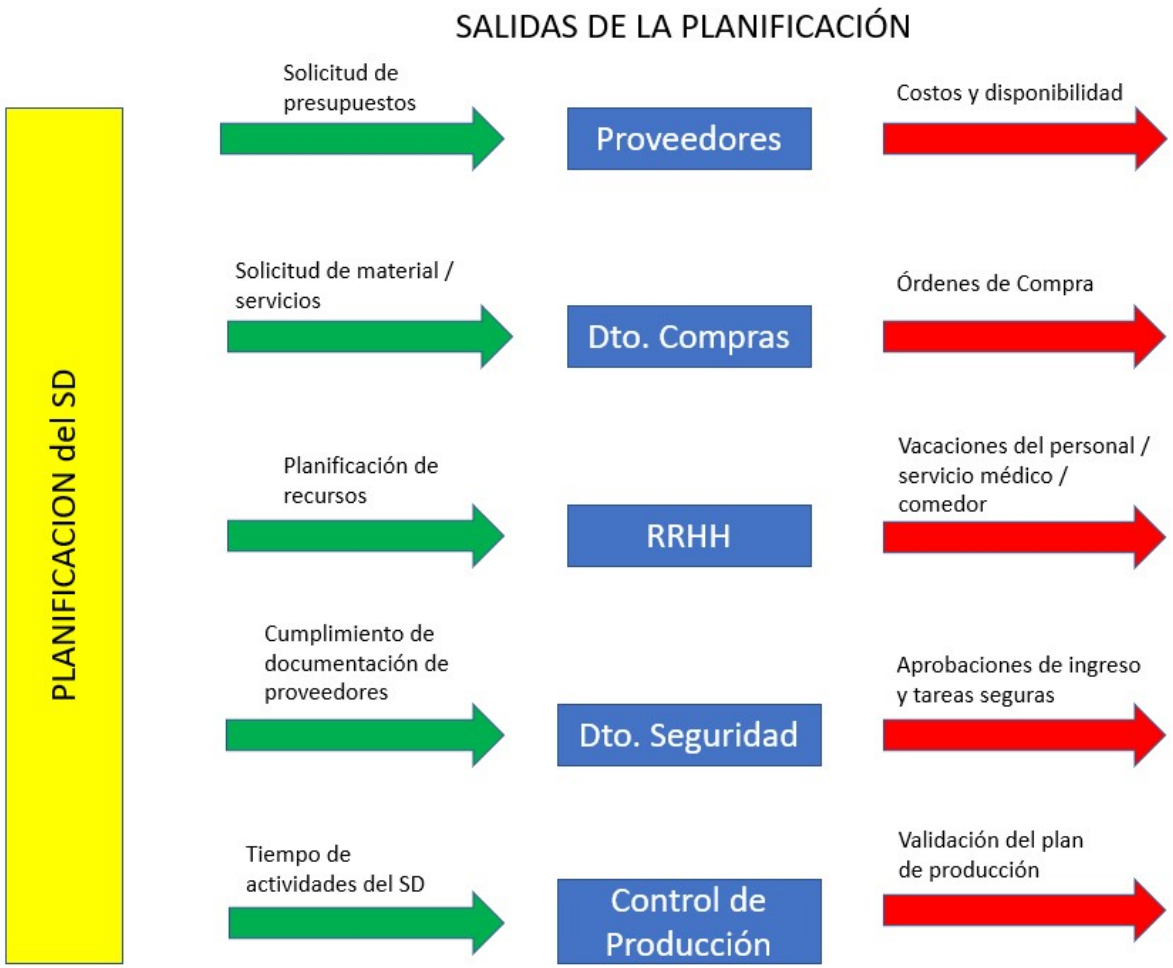


Figura 5.1.2: Esquema de salidas de la planificación.

5.1.1. Información de otras áreas

Los datos proporcionados por estas áreas, mostrados en la Figura 5.1.1, son tan importantes como los propios métricos del área de mantenimiento.

Calidad

Uno de los roles de esta área es el registro de las No Conformidades (NC) internas de los productos fabricados. Muchas de estas NC son originadas por una falla o desperfecto en las máquinas y/o dispositivos, por lo cual la información y el análisis proporcionado para cada una de las NC son de importancia. No sólo nos orienta acerca de la influencia que puede tener una falla de un equipo en la calidad del producto, sino también nos lleva a evaluar si este equipo está recibiendo el mantenimiento adecuado o podemos mejorar su performance desde alguna modificación en su diseño. Dado que estas acciones pueden llevar varios días de trabajo, es importante considerarlas durante la parada de planta anual. También esta información puede ser útil a la hora de justificar gastos de inversión en el equipo.

La Figura 5.1.1.1 muestra la evolución de las fallas que provocan NC de una de las celdas de mecanizado de cabezas de cilindros. En la misma se puede observar cómo la curva de plantado fuera de tolerancia (f/t) es una de las causas principales durante el primer semestre del año 2021.

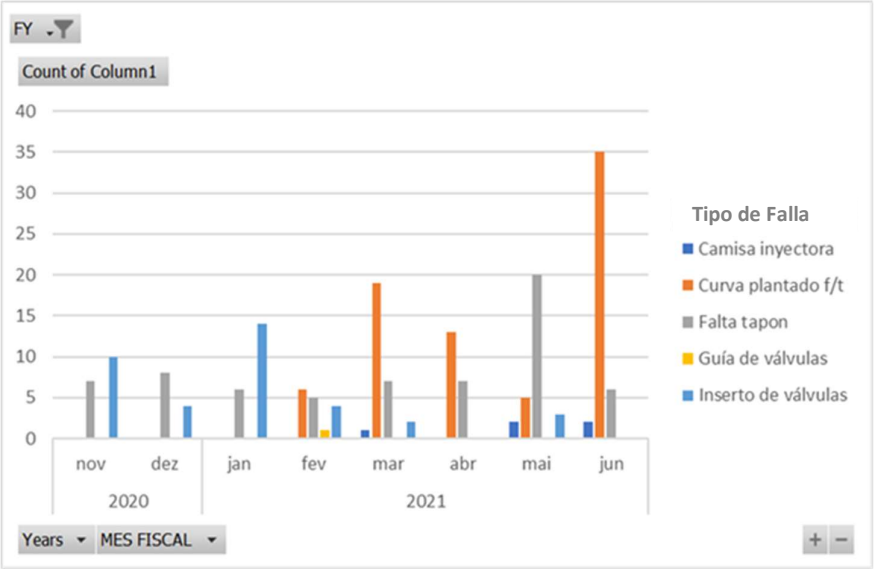


Figura 5.1.1.1: Grafico de evolución de NC según su tipo de falla para cabezas de cilindros

Ingeniería de Planta

Debido a la importancia de los servicios primarios que necesita cualquier línea productiva (energía eléctrica, aire comprimido, gas, agua, etc.), la participación de este departamento es de suma importancia para conocer aquellos proyectos que se están planificando y ejecutando, y pueden afectar la disponibilidad de estos servicios, así como también la superposición de proyectos y recursos durante la parada de planta. Así mismo, desde el área de Mantenimiento se debe analizar si existe alguna falla en los equipos que puede ser originada por uno de los servicios antes mencionado. La Figura 5.1.1.2 muestra un ejemplo de planificación de proyecto de Ingeniería de Planta, el cuál posee diferentes tarjetas con acciones y responsables, como así también la fecha de compromiso para el cierre de éstas. Los diferentes colores de las tarjetas representan las áreas involucradas en los proyectos, las cuales quedan planificadas con un horizonte de 3 semanas.

Planificación con MIRO - Semana 18 de obra.

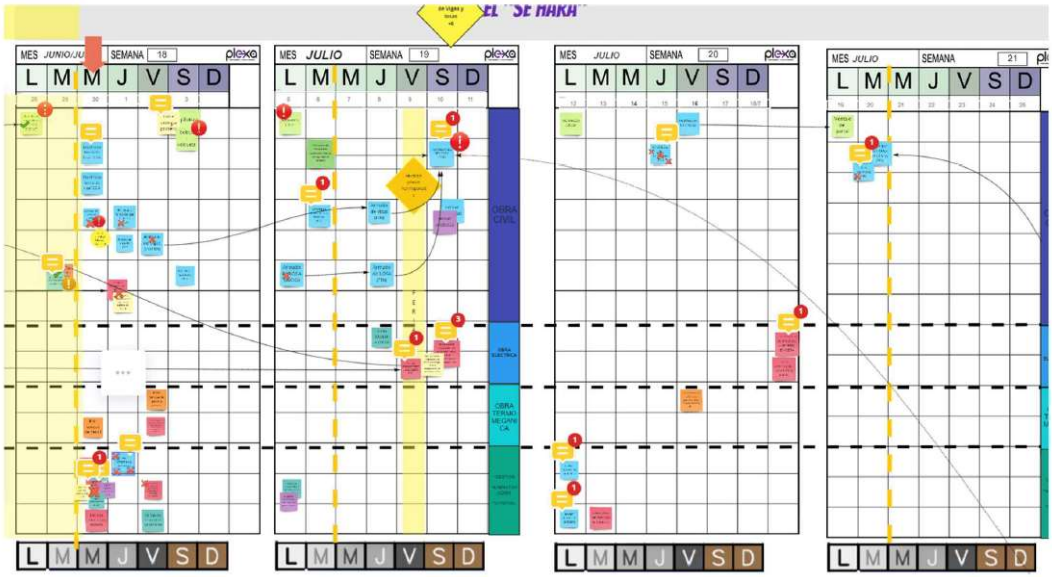


Figura 5.1.1.2: Planificación proyecto Low & Medium Voltage

Ingeniería de Manufactura

Debido a su rol y responsabilidad sobre los proyectos en las líneas productivas, como ser; ampliación de capacidad, modernización e incorporación de nuevos equipos, cambios de layout, lanzamientos de nuevos productos, instalación de nuevas líneas productivas, etc., es muy probable que cuenten con la ventana de tiempo que les brinda una parada anual para avanzar con sus proyectos. En ocasiones estas tareas provocan

interferencia con las acciones planificadas desde Mantenimiento y por ello es vital contar con la información precisa sobre el alcance de estos proyectos y como los mismos pueden afectar el normal desenvolvimiento de las tareas de Mantenimiento. Será importante entonces realizar un estudio minucioso para acordar entre ambas áreas la disponibilidad de equipos y/o instalaciones. La Figura 5.1.1.3 ejemplifica un proyecto de expansión de una de las líneas productivas, el cual, debido a su alcance, no solo puede interferir durante la parada de planta con las actividades de mantenimiento, sino que también suma nuevos equipos y cambia la criticidad de los existentes. Esto tracciona una revisión exhaustiva del listado de repuestos críticos y nuevos análisis de mantenimiento preventivo y predictivos.

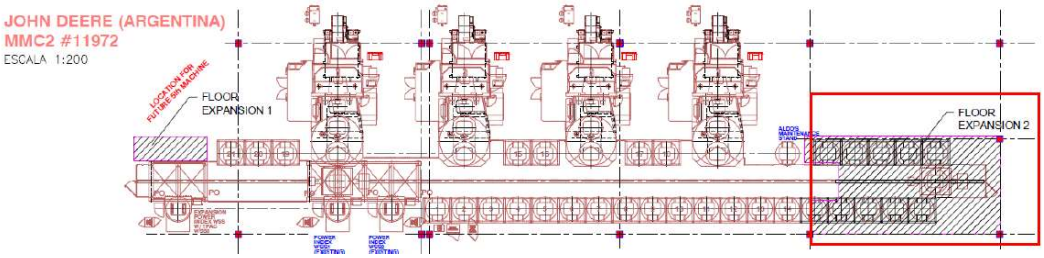


Figura 5.1.1.3: Proyecto de expansión de la línea de Cabezas de Cilindros

IT (Information Technology)

Al igual que las ingenierías, este departamento también aprovecha la ventana de tiempo de la parada anual para realizar tareas como back-ups de equipos críticos en piso de fábrica, pruebas del proceso de restauración, identificación de oportunidades de mejora, revisión de procesos y documentación, actualizaciones o cambios en los sistemas de redes y rack de comunicación. Es por ello que debemos incluir a esta área en nuestra planificación de actividades.

Operaciones

El área de Operaciones tal vez sea una de las principales en cuanto a su participación durante la planificación de la parada anual. Al ser el usuario permanente de los equipos e instalaciones posee mucha información valiosa sobre cómo fue la performance global de los mismos, con lo cual aporta siempre información valiosa y que muchas veces se desconoce o no está registrada en las bases de datos. Por otro lado, al ser nuestro cliente interno, el compartir esta actividad genera confianza y compromiso para que se desarrolle con éxito, dado que, en la etapa final de la parada de planta tendremos la prueba y aprobación de los equipos para su liberación final antes de

comenzar a producir nuevamente, es también por ello que será importante su involucramiento durante el desarrollo y prueba final de las actividades en cada equipo intervenido.

Control de Producción

Ninguna parada de producción puede realizarse sin antes planificarla y registrarla en el calendario anual de producción, este departamento como dueño de esta planificación debe brindar soporte en cuanto a la elección del mejor período del año para producir la parada de las líneas productivas en base a los niveles de demanda de productos, programa de producción, stocks, vacaciones del personal, etc. Tiene un rol fundamental no solo para analizar el mejor momento a realizar esta actividad sino también acordar el tiempo que tendremos disponible los equipos para luego avanzar con la programación de las tareas.

5.1.2. Información de Mantenimiento

Lo primero que debemos asegurar es la veracidad de los datos existentes, no sólo para confiar en los valores de los métricos de mantenimiento, sino también en toda la información disponible en los comentarios de las órdenes de trabajo, tanto para tareas preventivas como correctivas, y en los informes derivados de los análisis predictivos. Toda esta información debe ser recompilada y analizada para aquellos equipos que serán intervenidos o proyectos de mantenimiento que se implementarán durante la parada de planta.

Indicadores MTTR/MTBF:

Nos proporcionan los valores de los equipos en cuanto a su performance e índice de disponibilidad. Los mismos miden la calidad del nivel de servicio de mantenimiento, por lo que deben ser considerados en nuestra planificación. Aquellos equipos que no alcancen los objetivos definidos deben ser considerados para actividades de la parada de planta cuando dichas tareas demanden gran tiempo de ejecución. La Figura 5.1.2.1 muestra los valores de estos indicadores para un mes determinado, los mismos son reportados mensualmente a la gerencia de fábrica.

UPTIME

Up Time	All Equipment	Critical Eq.	Goal
Cylinder block line	99,76%	99,73%	98,20%
Cylinder head	99,99%	99,24%	98,20%
Engine assembly line	99,68%	99,57%	98,20%
Agricultural assembly line	100,00%	99,98%	98,20%
RDC	100,00%	100,00%	98,20%

SECTOR	SOH Critical A	SOH Production	Critical A No. of Break Down	Production No. of Break Down	Critical A Break Down HOURS	Production Break Down HOURS
Blocks	4752	12096	19	27	46,69	51,66
Cabezas	706	12002	11	13	44,25	44,52
Línea Mtje. Ppal. Motores	891	20196	0	17	0	46,22
Línea Mtje. Final Motores	4620	25410	0	57	0	101,65
Tractores 5000	153	5661	0	0	0	0
Cosechadoras	805	2093	0	0	0	0,00
Plataformas	692	7439	0	0	0	0
Tractores 6-7J	0	6966	0	0	0	0
RDC	297	2673	0	0	0	0

MTBF *(Tiempo medio entre fallas)* **+ MTTR** *(Tiempo medio de reparación)*

	MTBF		MTTR	
Sector	Current month	Goal	Current month	Goal
Línea Montaje Motores	542	>=600	0,83	=<2.0
Mecanizado Motores	686	>=450	1,94	=<2.4
Agrícola	11442	>=8000	0,50	=<1.8
RDC	1683	>=900	0,00	=<1.8

Figura 5.1.2.1: Publicación mensual de métricas de Mantenimiento

Proyectos por obsolescencia

Son impulsados por diferentes grados de obsolescencia de los equipos, ya sea por llegar al final de su vida útil o por discontinuidad de repuestos. En este último punto los elementos electrónicos son los casos más frecuentes por el recambio tecnológico de controladores, servo-amplificadores, controles numéricos, PLCs, etc.

Pare ello, se deben establecer los criterios para determinar el grado correcto de obsolescencia, ya sea por discontinuidad de repuestos o fin de su vida útil y disponer el capital necesario para llevar adelante estos proyectos. Por este motivo, debemos identificar estos proyectos el año previo a su ejecución para incluirlos en el presupuesto.

Tareas pendientes planificadas

Cuando se realizan mantenimientos correctivos, en ocasiones pueden quedar actividades programadas para un momento de mayor disponibilidad de los equipos y esto sucede normalmente durante las paradas de planta. Otro factor importante son aquellos derivados del estudio del mantenimiento preventivo y predictivo, los cuales pueden detectar anticipadamente componentes de los equipos que necesiten alguna acción para evitar su detención. Muchas de estas actividades también son desarrolladas durante la parada de planta.

Proyectos CI de Mantenimiento

Uno de los departamentos más importante dentro del sector de Mantenimiento es el de Ingeniería. Este busca, a través de proyectos mejora continua, incrementar la disponibilidad de los equipos e instalaciones. Normalmente, debido al alcance de su intervención, las tareas pueden demandar varios días o semanas.

Este departamento recibe el input de toda el área, desde una orden de trabajo en un equipo particular hasta la recepción de reportes de mantenimiento preventivos y predictivos. Por tal motivo busca, desde el análisis de toda esta información, proyectos que aseguren los mejores índices de disponibilidad en los equipos.

Capítulo 6

6.Implementación y resultados

Este capítulo despliega el plan diseñado y expone los resultados concretos después de aplicar el mismo a las líneas de producción de motores y mecanizado por dos años (2021 y 2022)

6.1. Implementación – Actividades de planificación

Para lograr una exitosa planificación de las actividades será necesario trabajar con un equipo interdepartamental varios meses antes de la fecha definida para la parada de planta.

De manera de impulsar este cambio cultural, involucramos a la alta gerencia alineando las responsabilidades propias del puesto de las personas involucradas, incorporando en su plan de evaluación de desempeño metas de negocio orientadas a la participación en el equipo interdisciplinado en mejoras de OEE, donde la Disponibilidad es unos de los pilares claves de este indicador.

Dada la criticidad del indicador, nos apoyándonos en la experiencia y participación del personal interno, como así también en actividades de benchmarking en distintas unidades de esta empresa, sin necesidad de sumar un gasto de contratación a través de una consultoría externa.

Por otra parte, mi rol se centró en el desarrollo del esquema de planificación, considerando el marco teórico y liderando junto a los integrantes de Ingeniería de Mantenimiento el despliegue práctico de este esquema, a través de la ejecución de las acciones descriptas en este trabajo.

La Figura 6.1.1 esquematiza este plan, listando las distintas actividades y las áreas involucradas en cada período de tiempo, previa ejecución de la parada de planta (SD).

Etapas para la planificación

180 días	120 días	90 días	75 días	60 días	30 días	SD	30 días
1- Definición del calendario de parada de planta 2- Duración estimada de las actividades	1- Listado de proyectos. 2- Revisión de la duración de las actividades 3- Identificación de interferencia entre proyectos	1- Identificación de equipos con NC de Calidad 2- Equipos con baja performance de MTBF / MTTR 3- Estudio de Confiabilidad 4- Equipos con baja eficiencia en operaciones	1- Listado de acciones por equipo 2- Planeamiento de recursos 3- Identificación de proveedores 4- Listado de repuestos, revisión de stock 5- Solicitud de cotización	1- Orden de compra a proveedores 2- Asignación de personal interno/externo a cada tarea 3- Compra de repuestos 4- Comunicación a RRHH	1- Revisión del cumplimiento de tareas asignadas 2- Revisión de proyectos planificados 3- Comunicación del plan	Ejecución y seguimientos de las tareas planificadas	1- Reporte de las actividades 2- Lecciones aprendidas 3- Próximos pasos

Áreas	180 días	120 días	90 días	75 días	60 días	30 días	SD	30 días
Control de Producción	X							
Ingeniería de Planta / IT	X	X				X		X
Ingeniería de Manufactura	X	X				X		X
Mantenimiento	X	X	X	X	X	X	X	X
Operaciones	X	X	X	X	X	X	X	X
Ingeniería de Control & Automación		X				X		X
Calidad			X					X
Compras				X	X	X		X
Seguridad & Higiene				X	X	X	X	X
Recursos Humanos					X			

Figura 6.1.1: Actividades y áreas involucradas para la planificación de la parada

6.1.1. Tareas previas a la parada anual

Del esquema anterior, se desprende que lo primero que se deberá establecer es el mejor momento para realizar la parada. Este normalmente coincide con el período vacacional del personal operativo. Se definirá entonces comenzar alrededor de 180 días previos a la parada para la primera reunión con los departamentos de Control de Producción, Ingenierías, Operaciones y Mantenimiento.

En esta primera instancia se revisará el plan de demanda y la disponibilidad de recursos de manera de poder evaluar la mejor fecha para la parada anual. Por su lado, los diferentes departamentos de Ingeniería y el área de Mantenimiento deben comenzar a listar los principales proyectos y sus tiempos aproximados de ejecución.

Luego de esta actividad, se debe coordinar una serie de reuniones establecidas en las distintas etapas del esquema de planificación. En ellas cada área tendrá diferentes roles y responsabilidades, comenzado con un listado más preciso de las acciones y su tiempo de duración, evaluando las posibles interferencias entre proyectos de manera de minimizar su impacto, entre otras.

Se deberán explorar los indicadores de MTTR/MTBF estudiados en el Capítulo 4, como así también un estudio de confiabilidad en aquellos equipos que evidenciaron desmejoras significativas en su performance. Además, examinar los resultados de los mantenimientos predictivos, analizar los equipos que generaron productos No Conformes, o aquellos que la operación identificó con problemas de eficiencia operativa.

Una vez consolidada esta información, comenzaremos a instrumentar nuestro plan de trabajo, detallando las siguientes actividades:

- listado de acciones, tiempo de ejecución, recursos (interno/externo) y nombre del responsable por cada equipo a intervenir
- lista de proveedores para aquellas tareas asignadas a recursos externos
- análisis de disponibilidad de repuestos
- creación de pliegos de trabajo
- solicitud de cotizaciones
- creación de órdenes de compras de repuestos y servicios a proveedores
- revisión del cumplimiento de requisitos para el ingreso de proveedores

Una de las últimas fases de esta planificación será la revisión y el seguimiento frecuente de las tareas asignadas a los responsables en las etapas anteriores, como también el estado de los proyectos, en especial aquellos que evidencien demoras o se hayan cancelado.

También cabe señalar que en los últimos pasos de esta planificación será necesario comunicar a RRHH todo lo referente a la disponibilidad de personal de la empresa durante la parada de planta.

6.1.2. Ejecución del trabajo en la parada de planta

Durante la parada de planta, al final de cada día se debe revisar el avance de las tareas, registrar los cambios que se hayan producido, y programar las acciones del día siguiente, tomando para ello el plan de trabajo ya acordado entre las diferentes áreas involucradas. Para ello, es importante la participación de un representante por cada área e inclusive contar con la presencia de los proveedores en esta actividad.

Así mismo, una buena práctica es realizar auditorías durante la ejecución de las tareas, de manera de corregir los desvíos a tiempo y evitar errores que luego se traducirán en demoras respecto a nuestro plan de trabajo.

6.1.3. Lecciones aprendidas y próximos pasos

Una vez finalizada la parada anual, la recopilación de la información suministrada durante este período permitirá presentar a las partes interesadas un resumen con las principales actividades desarrolladas y su resultado, como así también las lecciones aprendidas durante estas intervenciones y los próximos pasos a seguir.

Esta última etapa será el primer punto de retroalimentación para la planificación de futuras acciones sobre los equipos e instalaciones. Además, genera confianza en nuestro cliente interno, promoviendo el reconocimiento hacia aquellas áreas que participaron en esta actividad.

6.2. Resultados evidenciados

6.2.1. Mejora de Indicadores (OEE, MTBF, MTTR)

El principal objetivo es sustentar las operaciones de manufactura, focalizada en motores para el presente trabajo. Por lo tanto, más allá de la esperada mejora de los indicadores internos de Mantenimiento, tales como el MTTR y MTBF, debemos centrarnos también en la mejora del OEE, dado que este indicador global está relacionado directamente con la capacidad de fabricación de nuestras líneas de producción. En este sentido, si bien nuestras acciones están centradas en el pilar de Disponibilidad, muchas acciones indirectamente podrán mejorar también los pilares de Calidad y Eficiencia, al reducir el número de No Conformidades en los equipos intervenidos, como así también mejorar la eficiencia operativa al disminuir la cantidad de fallas y paros no planificados.

En el escenario actual, donde la demanda de motores ha crecido superando los valores históricos, como se puede apreciar el año 2021 en la Figura 6.2.1.1, una mejora del indicador de OEE permitió satisfacer dicha demanda sin grandes inversiones de capitales, mejorando de esta manera la rentabilidad del negocio.

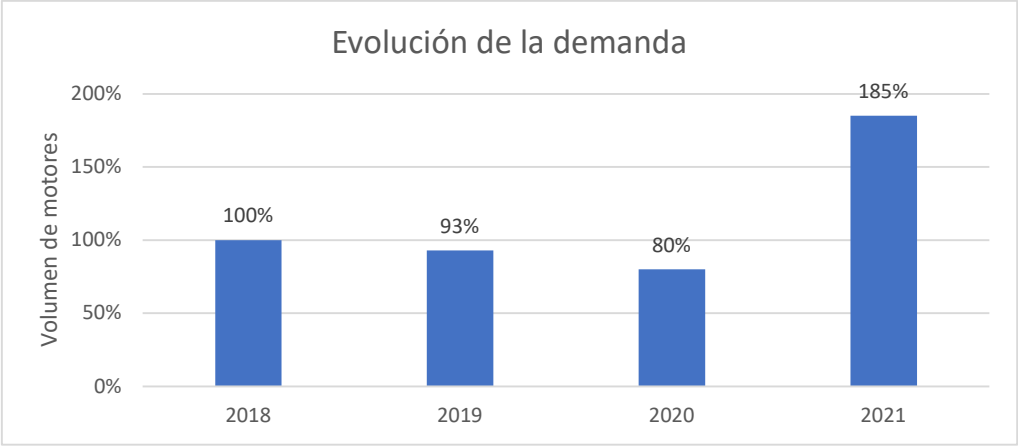


Figura 6.2.1.1: Evolución de la demanda de motores

Las acciones planificadas, derivadas del procesamiento de datos detallados en el Capítulo 4, redujeron las detenciones de los equipos impactando positivamente en el indicador de Disponibilidad. Las primeras acciones resultantes de este trabajo y llevadas a la práctica en la parada de planta de Enero 2021, demuestran una evolución positiva de este indicador en las líneas de Mecanizado, alcanzando el valor más alto de

Disponibilidad de los últimos cuatro años, tal como se aprecia en las Figuras 6.2.1.2 y 6.2.1.3.

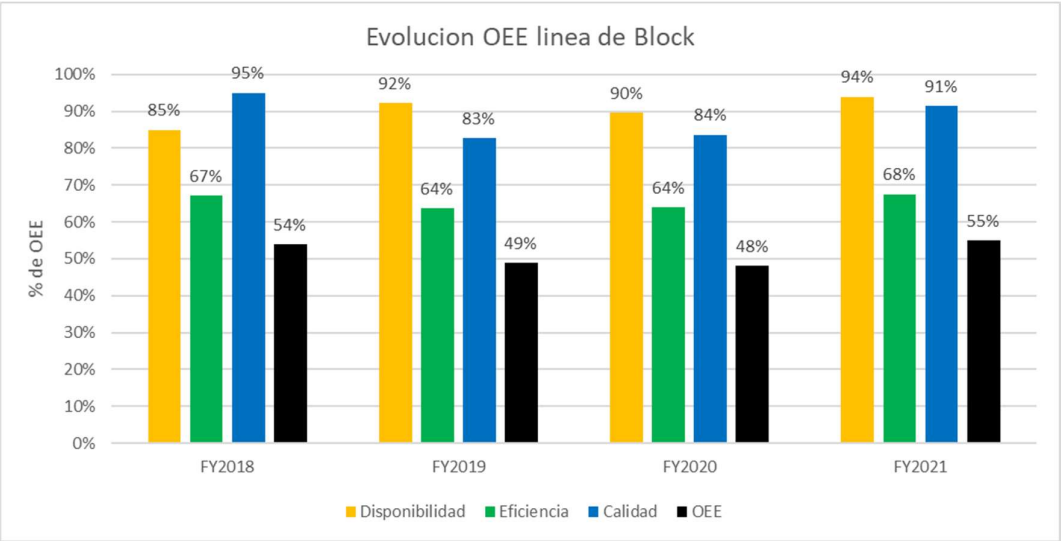


Figura 6.2.1.2: Evolución OEE Línea de mecanizado de Block de Cilindros

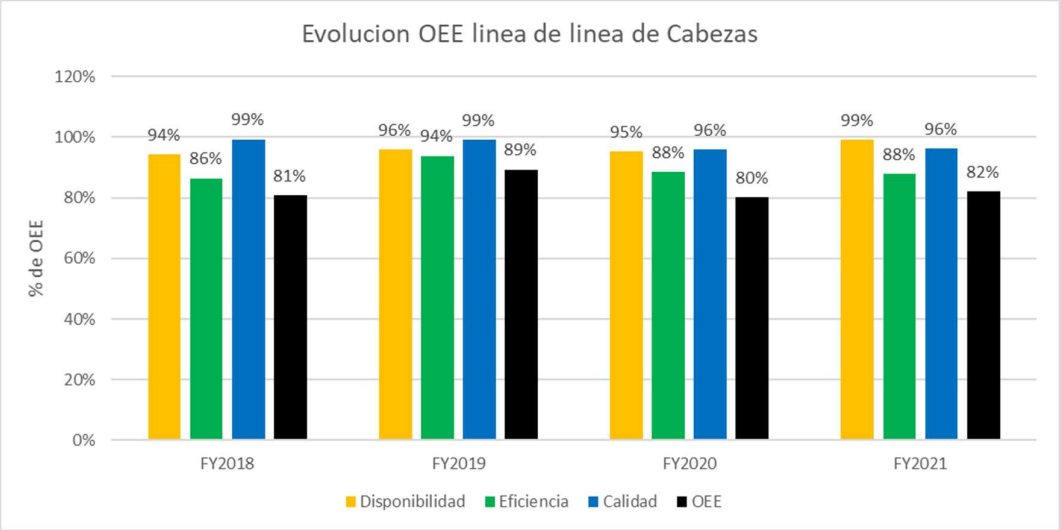
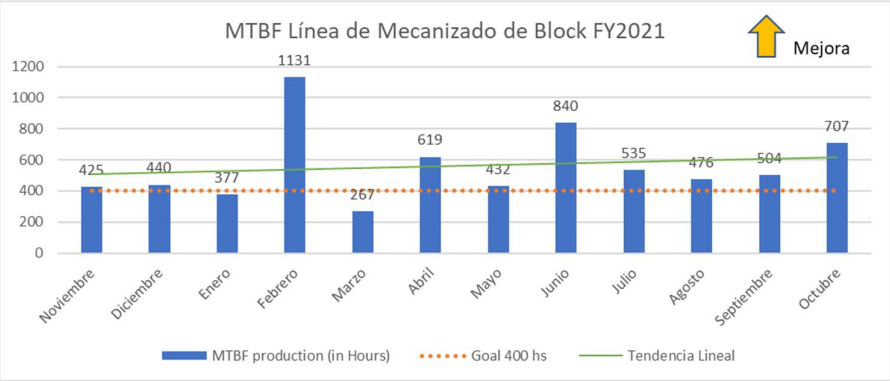
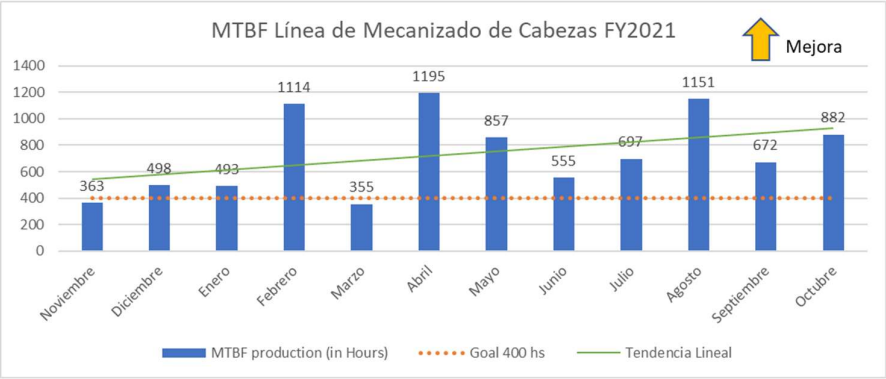
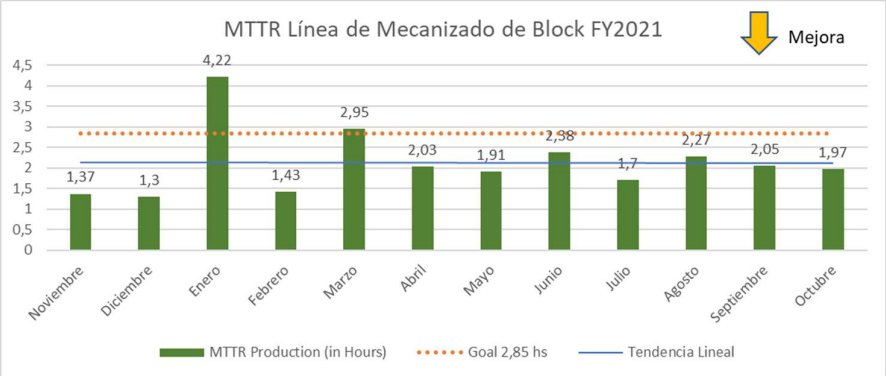


Figura 6.2.1.3: Evolución OEE Línea de mecanizado de Cabezas de Cilindros

En esta misma dirección se evidenció mejoras en los valores de MTBF de ambas líneas de mecanizado, como así también el MTTR de la línea de mecanizado de cabezas, cumpliendo los objetivos y con tendencia hacia la mejora en ambos indicadores. Por su parte el MTTR de la línea de mecanizado de Block mantuvo una constante, representando la madurez y estabilidad de dicha línea. Las gráficas de la Figura 6.2.1.4 representan dicha evolución.







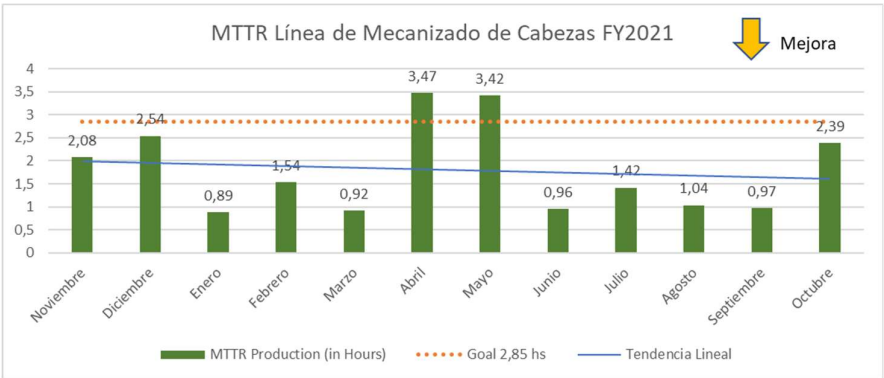


Figura 6.2.1.4: Evolución del MTBF y MTTR en Líneas de Mecanizado

El Capítulo 4 también nos proporcionó información sobre las diferentes paradas que afectaban los bancos dinamométricos, los cuales son cuello de botella de la línea de ensamble de motores. De manera de mejorar la disponibilidad de la información en el FY2021 desarrollamos un tablero de OEE en Power BI expuesto en la Figura 6.2.1.5. Esta herramienta permite el monitoreo de este indicador de manera mucho más ágil, con información muy detallada en cada uno de sus pilares.

Figura 6.2.1.5: Tablero Power BI OEE bancos dinamométricos

Desde su implementación comenzamos con la identificación de fallas dentro del alcance de Mantenimiento. El diagrama Pareto de la Figura 6.2.1.6, nos muestra las principales causas que afectan la Disponibilidad en los bancos dinamométricos.

Las tareas planificadas en la parada de planta, tales como, nuevos cableados para las ECUs, cambio de termocuplas por sensores de temperaturas y los cambios de tecnología para los caudalímetros del sistema refrigerante; estuvieron orientadas a disminuir la probabilidad de estas fallas.

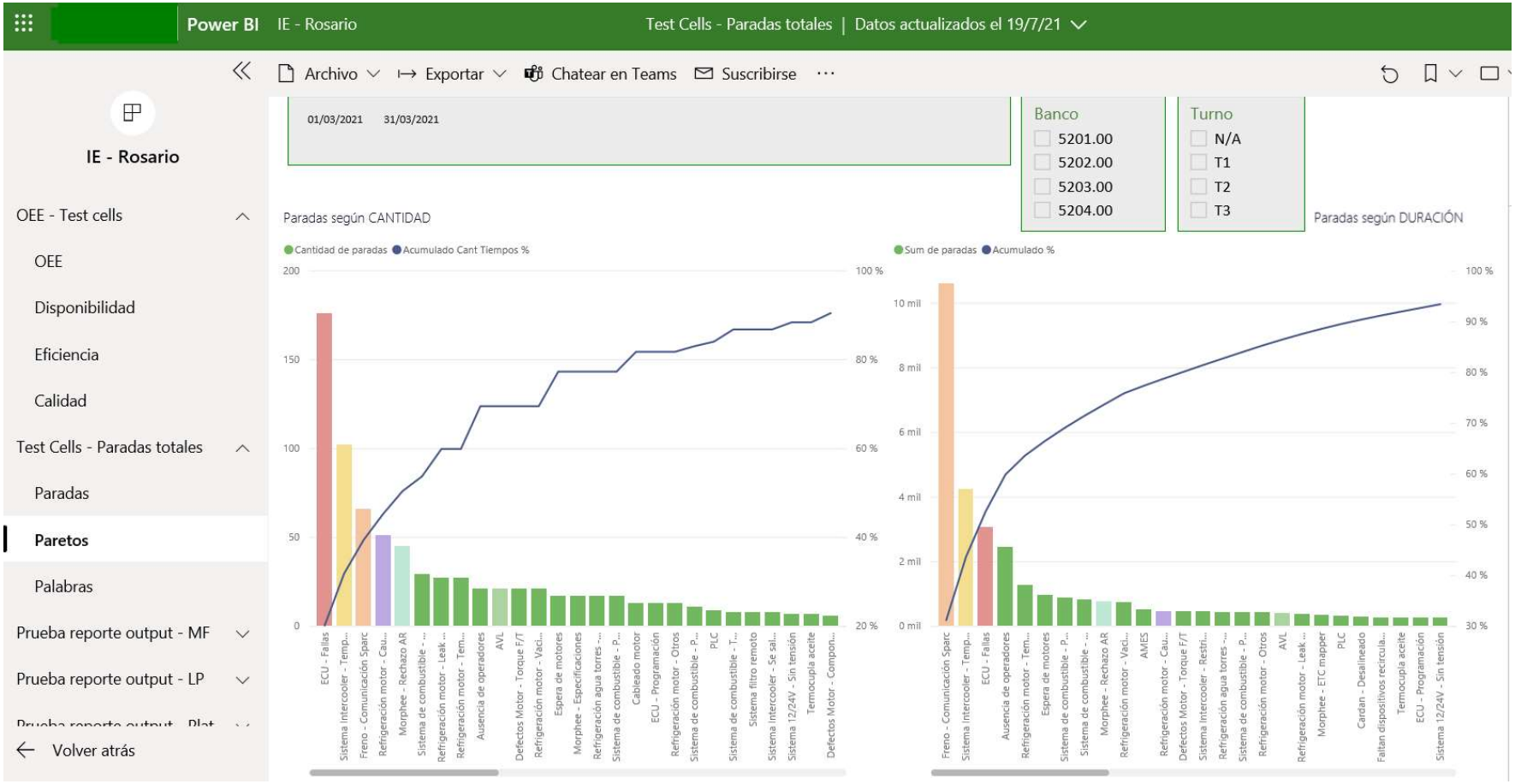
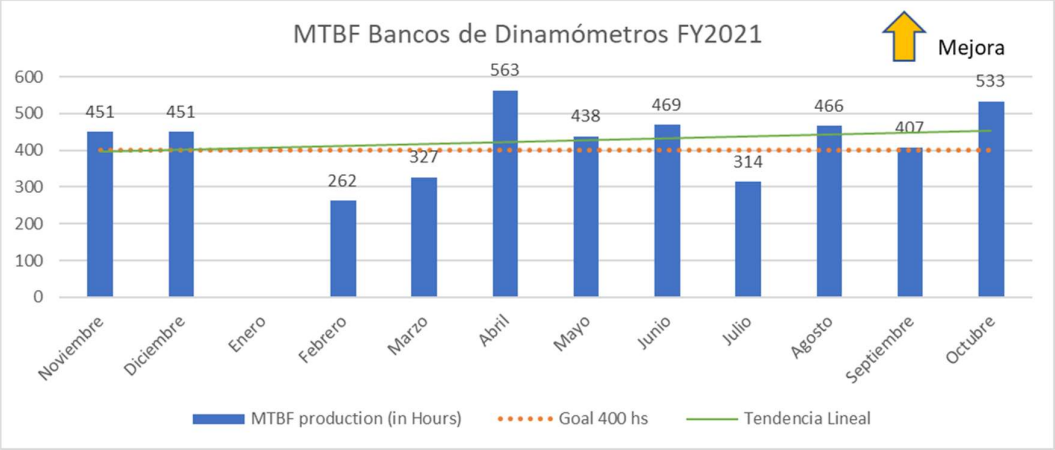


Figura 6.2.1.6: Tablero Power BI Pareto de cantidad y tiempos de paradas en bancos dinamométricos

El resultado de dichas acciones, junto a otras de igual relevancia produjo una mejora en el MTTR y MTTF de bancos representada en la Figura 6.2.1.7. La evolución de estas fallas se puede apreciar en la Sección 6.3.



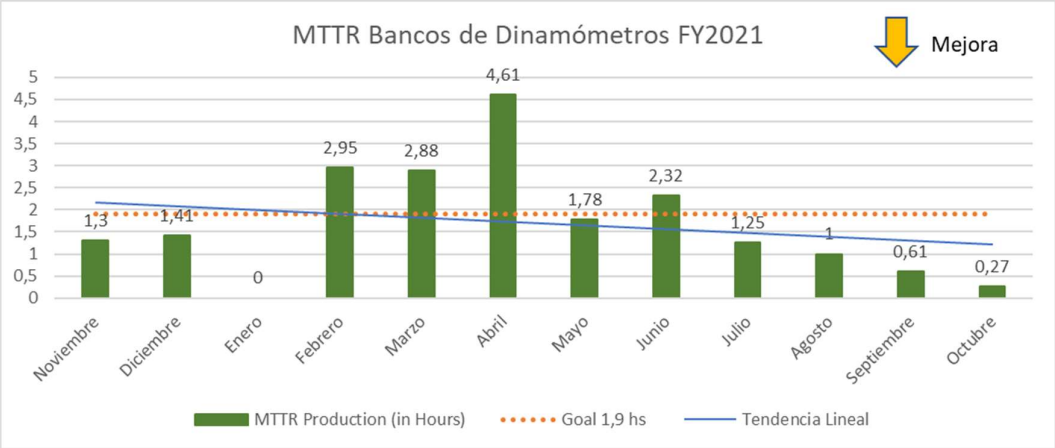


Figura 6.2.1.7: Evolución del MTBF y MTTR de los Bancos Dinamométricos

6.2.2. Aplicación del Método Jack Knife

Tal lo detallado en el Capítulo 4, uno de los equipos con mayores fallas en la línea de block era la lavadora Esaire spray rotativa A-1309. Para poder priorizar las acciones sobre este equipo, utilizamos el método Jack Knife en búsqueda de una mejora en su confiabilidad.

Así, en la Tabla 6.2.2.1 se registró la frecuencia y duración de las fallas en los subsistemas del equipo, calculando la Tasa de Fallas, el MTTR y la Indisponibilidad

	Total de horas del equipo Eisaire A-1309 (Nov-May FY21)	3360				
	Subsitemas de la lavadora	**Duración Total**	**Total de Fallas**	**Tasa de Fallas**	**MTTR**	**Indisponibilidad**
1	sistema de clampéo	48,04	25	0,00744	1,9	0,0143
2	sistema de rotación	10,05	4	0,00119	2,5	0,0030
3	sensor ingreso de pieza	9,69	5	0,00149	1,9	0,0029
4	mangueras sistema de secado	6,4	1	0,00030	6,4	0,0019
5	sistema de estanqueidad	4,56	3	0,00089	1,5	0,0014
6	sistema transfer de salida	2,22	1	0,00030	2,2	0,0007
7	sensores de nivel	2,06	1	0,00030	2,1	0,0006
8	sensores de posición	1	2	0,00060	0,5	0,0003
9	sistema transfer	0,23	1	0,00030	0,2	0,0001
	Promedios generales para el equipo			**0,0014**	**2,1447**	**0,0030**

Tabla 6.2.2.1: Detalles de fallas y reparación por subsistema en Lavadora Esaire A-1309 antes de la parada.

Utilizando los datos de la Tabla 6.2.2, los diferentes subsistemas se ubican en los cuadrantes de la Figura 6.2.2.1.

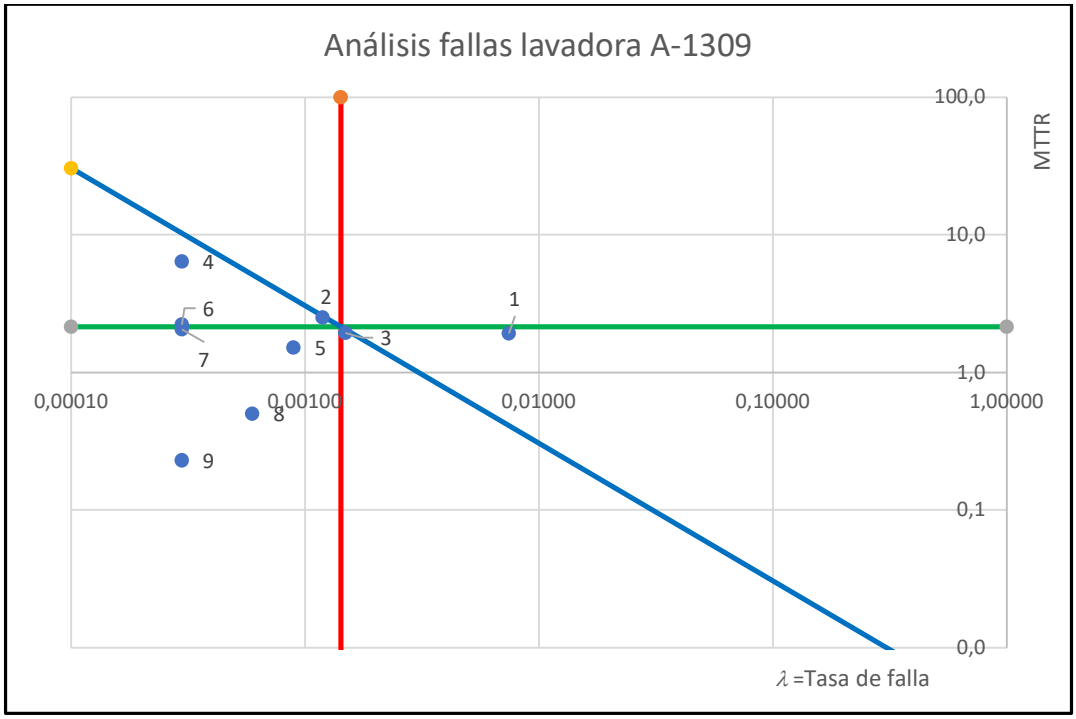


Figura 6.2.2.1: Grafico Jack Knife para los subsistemas de la Lavadora Eisaire A-1309 antes de la parada.

Tras el resultado obtenido con esta herramienta, centramos nuestras acciones en aquellas fallas identificadas como prioritarias:

- Sistema de clampéo
- Sistema de rotación

- Sensor ingreso de piezas

Para ello desarrollamos una herramienta de análisis de causa raíz (ACR), en la cual utilizamos la técnica de los 5 ¿Por qué?, buscando las causas principales de estas fallas.

En este análisis participan los técnicos que intervinieron en la reparación junto al equipo de Ing. de Mantenimiento, según el caso se involucra también a representantes de las áreas de Operaciones y/o Ingeniería de procesos con el fin de obtener una mayor información que nos ayude a identificar mejor la causa raíz de la falla.

Una vez identificada la causa, el equipo de análisis realiza un Brainstorming (Tormenta de ideas) buscando acciones que brinden la mejor solución al problema, para luego enmarcarlas dentro de una matriz de decisión (Efectividad – Probabilidad de implementación) determinado una priorización y asignación de las tareas.

La figura 6.2.2.2 muestra el desarrollo de este análisis de ACR para la falla del sistema de rotación.

Los anexos H, I muestran los ACR de las fallas del sistema de clampéo y el sensor de ingreso de piezas

		ACR		**Estado:**	**Cerrada**
Equipo Nombre:	Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	**Sector:**	JX01-062-062-MAQUINAS		
N° SAP:	JXM-6417	**Componente:**			
Horas de Parada:	52,5	**N° orden:**	77200026848		
Fecha de Parada:	13/7/2020	**Fecha de Realización ACR:**			
Descripción:	Falla de clampeo y giro de pieza				
Texto largo:	07/13/2020 04:03:54 CST Gabriel andres Fiorilla (JX03545) SISTEMA DE PIEZAS TRANSPO/General/Problemas Electricos/No funciona/ 13.07.2020 04:15:03 CST Juan pablo Ramos (JX03865) se normaliza 13.07.2020 12:16:52 CST Teodoro Garcia (JX01588) Se presenta nuevamente la falla, luego de analizar el equipo se observa rotura de rodamiento inferior de sistema de giro de pieza				

Análisis de la Causa Raiz

1er. ¿Por qué? (falla sist giro)	2º.- ¿Por qué?	3er. ¿Por qué?	4º.- ¿Por qué?	5o.- ¿Por qué?
Mal posicionamiento carrousel	Desalineación en eje respect. al centro de giro	Falla rodamiento	Ingreso de agua	Rotura de retén
Causa Raíz	Rotura de retén			

Causas Adicionales contributivas: (En caso de que exista)

Ambiente agresivo para retenes.

Brainstorming (Tormenta de ideas)
Idea #1: Preventivo anual inspección/reemplazo de retenes
Idea #2: Evaluar posible reemplazo de tipo de rodamientos con proveedor
Idea #3: Modificación/reingeniería sensores carrousel
Idea #4: Modificación de posición de tornillos en caja de rodamientos para facilitar reemlpazo
Idea #5:
Idea #6:
Idea #7:

Tarea	Responsable	Date	Status
Preventivo anual inspección/reemplazo de retenes	Rosas J.	23/10/2020	Terminada
Evaluar posible reemplazo de tipo de rodamientos con proveedor	Rosas J.	23/10/2020	Terminada
Modificación/reingeniería sensores carrousel con sello vitón	Gruning M.	4/1/2021	Terminada
Modificación de posición de tornillos en caja de rodamientos para facilitar reemlpazo	García A.	4/1/2022	Terminada

Figura 6.2.2.2: Planilla de ACR: 5 ¿por qué? - Causa raíz - Brainstorming – Matriz de decisión y asignación de tareas, correspondiente a la falla del sistema de rotación.

Tal como vimos en el Capítulo 5, el diagrama de entradas para la planificación (Figura 5.1), toma en uno de sus puntos el análisis de los diferentes ACR para incluir durante la parada anual aquellas acciones pendientes de este análisis.

Luego de ejecutar las tareas identificadas en los ACRs, sobre los diferentes subsistemas según la priorización anterior, aplicamos nuevamente el método Jack Knife obteniendo la Tabla 6.2.2.2 y Figura 6.2.2.3. Aquí se evidencia una mejora de los valores promedios de la Tasa de Fallas y el MTTR.

	Total de horas del equipo Eisaire A-1309 (Jun-Sep FY21)	***1920***				
	Subsitemas de la lavadora	***Duración Total***	***Total de Fallas***	***Tasa de Fallas***	***MTTR***	***Indisponibilidad***
4	*mangueras sistema de secado*	*15,42*	*4*	*0,00208*	*3,9*	*0,0080*
8	*cableado sensores*	*6,57*	*2*	*0,00104*	*3,3*	*0,0034*
5	*sistema de estanqueidad*	*3*	*1*	*0,00052*	*3,0*	*0,0016*
7	*sensores de nivel*	*2,65*	*1*	*0,00052*	*2,7*	*0,0014*
9	*piston neumático lav. Tapón*	*2*	*1*	*0,00052*	*2,0*	*0,0010*
6	*sistema transfer de salida*	*1,61*	*1*	*0,00052*	*1,6*	*0,0008*
2	*sistema de rotación*	*1*	*1*	*0,00052*	*1,0*	*0,0005*
10	*carenado interior*	*1*	*1*	*0,00052*	*1,0*	*0,0005*
1	*sistema de clampéo*	*0,75*	*2*	*0,00104*	*0,4*	*0,0004*
3	*sensor ingreso de pieza*	*0,33*	*1*	*0,00052*	*0,3*	*0,0002*
	Promedios generales para el equipo			***0,0008***	***1,9105***	***0,0015***

Tabla 6.2.2.2: Detalles de fallas y reparación por subsistema en Lavadora Esaire A-1309 luego de la parada.

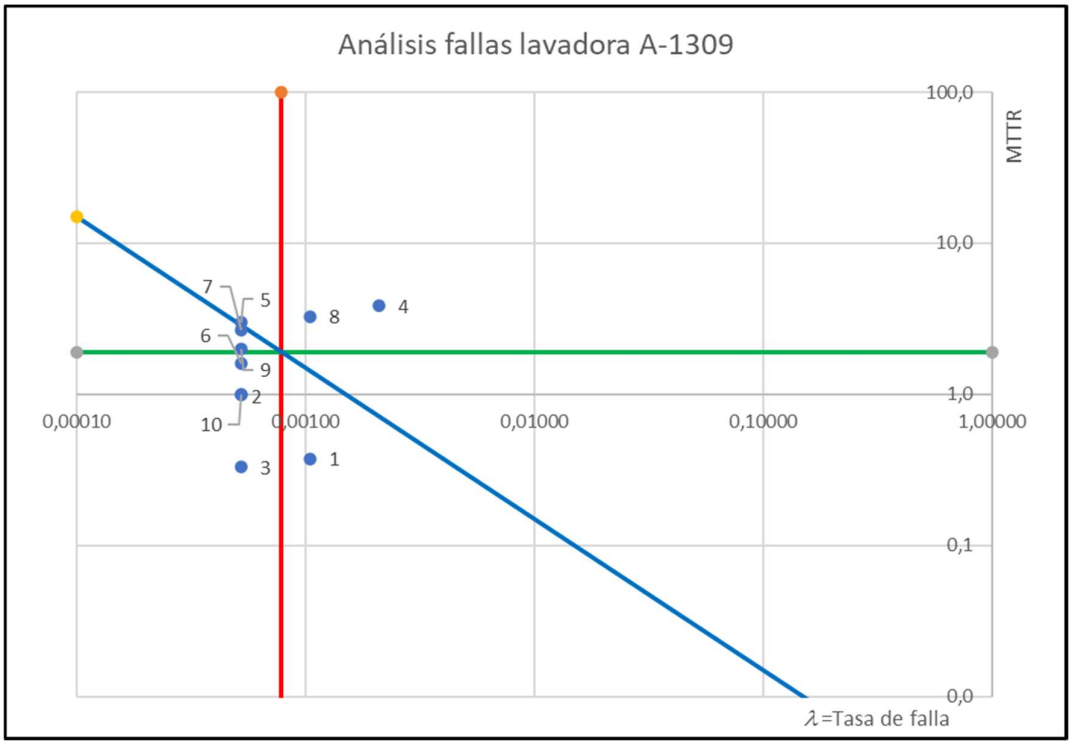


Figura 6.2.2.3: Grafico Jack Knife para los subsistemas de la Lavadora Eisaire A-1309 luego de la parada.

Aquí vemos también cómo fueron cambiando de posición los subsistemas, mostrando nuevas prioridades. Se deja atrás, por ejemplo, el subsistema de clampéo para enfocarnos ahora en el secado.

6.2.3. Mejora de confiabilidad

Para nuestro caso de estudio, antes de las acciones derivadas de los ACRs sobre la lavadora Esaire A-1309 teníamos los registros de fallas de la tabla 6.2.3.1.

Meses observados	Cantidad de paradas	Tiempo de reparación	Horas de marcha
jun-20	4	5,94	504
jul-20	10	55,72	624
ago-20	9	3,69	504
sep-20	6	7,96	504
oct-20	6	14,5	600
nov-20	7	9,78	504
dic-20	14	11,86	456
ene-21	6	5,78	624
feb-21	12	30,06	480

$MTBF = \frac{\text{tiempo total de observación}}{\text{cantidad de fallas}}$	64,86
$MTTR = \frac{\text{tiempo total de reparaciones}}{\text{cantidad de fallas}}$	1,96
Confibilidad -R- = MTBF/(MTBF+MTTR) * 100	0,971

Tabla 6.2.3.1: Histórico de la fallas e indicadores para Lavadora Esaire A-1309 antes de la parada

Luego de las actividades de mantenimiento sobre este equipo durante la parada de planta, priorizando las acciones mediante el método Jack Knife, la Tabla 6.2.3.2 muestra que los valores de MTBF y MTTR mejoraron. Como consecuencia de ello, el valor de confiabilidad se incrementó.

Meses observados	Cantidad de paradas	Tiempo de reparación	Horas de marcha
abr-21	3	6,65	624
may-21	5	4,42	480
jun-21	5	3,94	504
jul-21	3	1,75	624
ago-21	3	2,25	648
sep-21	2	0,67	504
oct-21	1	0,78	552
nov-21	2	2,95	456
dic-21	2	1,45	456

$MTBF = \frac{\text{tiempo total de observación}}{\text{cantidad de fallas}}$	186,46
$MTTR = \frac{\text{tiempo total de reparaciones}}{\text{cantidad de fallas}}$	0,96
Confibilidad -R- = MTBF/(MTBF+MTTR) * 100	0,995

Tabla 6.2.3.2: Histórico de la fallas e indicadores para Lavadora Esaire A-1309 después de la parada

Esta metodología fue empleada en aquellos equipos identificados con baja confiabilidad, como resultado de su aplicación se evidenció una mejora sustentable del índice de Disponibilidad en las líneas productivas, mejorando el valor de OEE y por consecuencia el aumento de la capacidad productiva.

6.3. Proceso de digitalización

En los dos últimos años se desarrollaron diferentes tableros en Microsoft Power BI, los cuales permiten visualizar fácilmente los datos y reportarlos en tiempo real al conectar Power BI con SAP Hana.

La Figura 6.3.1 muestra las cantidades de fallas y tiempo de reparación de todos los equipos de Mecanizado durante el año 2021. Mostrando el top ten de estos equipos y su evolución durante el transcurso de tiempo seleccionado, aportando el detalle de cada descripción de falla y su posterior solución, como así también resaltando aquellos fallos con paradas superiores a 4 horas para realizar un análisis más profundo.

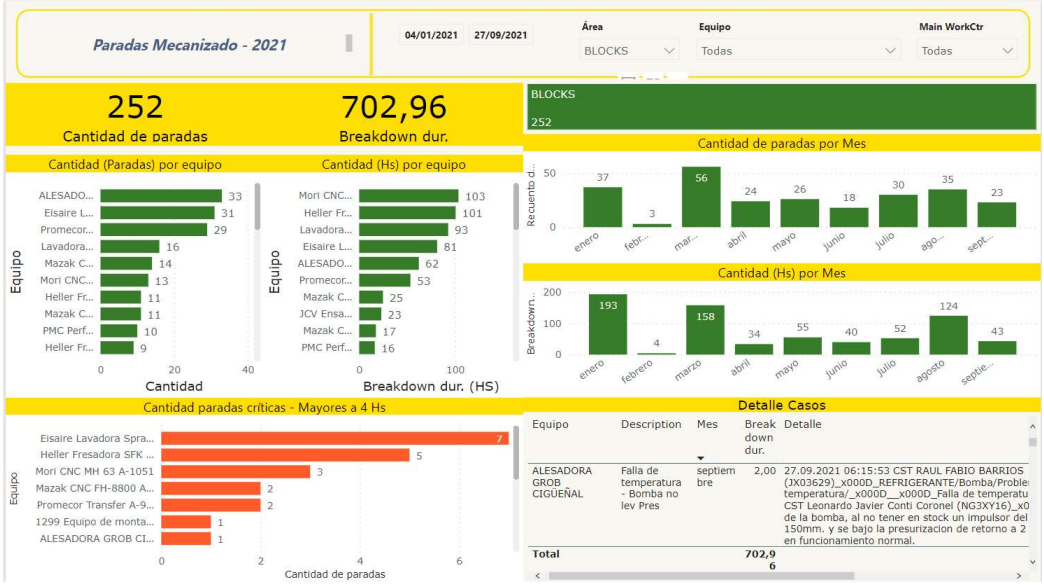


Figura 6.3.1: Tablero Microsoft Power BI de análisis de fallas en las líneas de Mecanizado

La Figura 6.3.2 muestra el mismo análisis en los equipos de la línea de armado de motores, este caso resaltando aquellos fallos con paradas superiores a 1 hora, dada su criticidad en los tiempos de paros por tener un takt time inferior a Mecanizado.

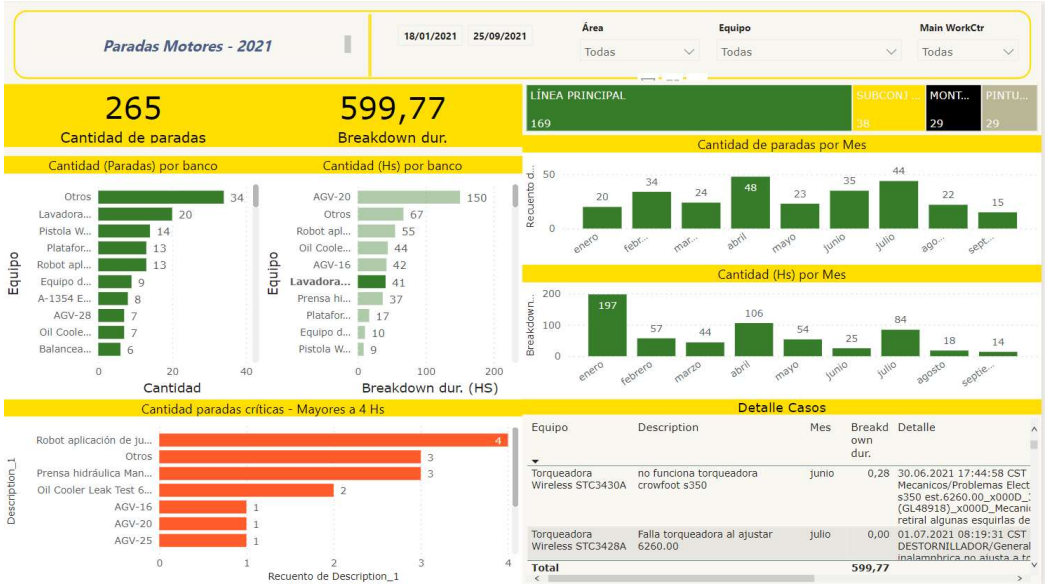


Figura 6.3.2: Tablero Microsoft Power BI de análisis de fallas en las líneas de ensamble de Motores

6.3.1. Iniciativas de Mantenimiento Predictivo

Durante los últimos años se incursionó también en técnicas de mantenimiento predictivo que permitan eficientizar el uso de los recursos. Ejemplo de ello es la implementación de SKF Machine Health Monitor.

Este software de monitoreo de vibración y temperatura está diseñado para máquinas rotativas con condiciones de operación constantes. Las mediciones de velocidad realizan un seguimiento del estado general de la máquina y pueden resaltar problemas potenciales relacionados con la desalineación y desequilibrio, mientras que las mediciones de aceleración envolvente ayudan a detectar una posible degradación de la condición del rodamiento.

La Figura 6.3.1.1 nos muestra el diagnóstico de más de 200 puntos de control en nuestra planta, los cuales se relevan mensualmente. En el tablero podemos ver la condición general de los equipos, el estado de alarmas según su criticidad y la clasificación según su diagnóstico.

Figura 6.3.1.1: Pantalla de control del software SKF Machine Health Viewer

En un futuro se instalarán sensores para el monitoreo en tiempo real de los sistemas críticos. Así se podrá identificar el desgaste potencial o fallas en los componentes móviles a medida que se desarrollan. Permitiendo una mejor

programación del mantenimiento y por ende un beneficio de disponibilidad y costo a las operaciones.

6.4. Optimización de Costos

Cuando hablamos de sustentabilidad de un negocio no podemos dejar de pensar en la rentabilidad, por lo cual otro indicador que debemos monitorear son los costos asociados al mantenimiento de los equipos respecto al volumen producido. En la medida que los mantenimientos preventivos y predictivos sean eficaces, estos reducirán los mantenimientos correctivos y sus gastos asociados, como también los costos de las interrupciones en las líneas de producción.

En este sentido, los costos de mantenimiento demuestran, en la Figura 6.4.1, una disminución en el año 2021 con respecto a años anteriores, estando además un 12% por debajo del presupuesto establecido para este año.

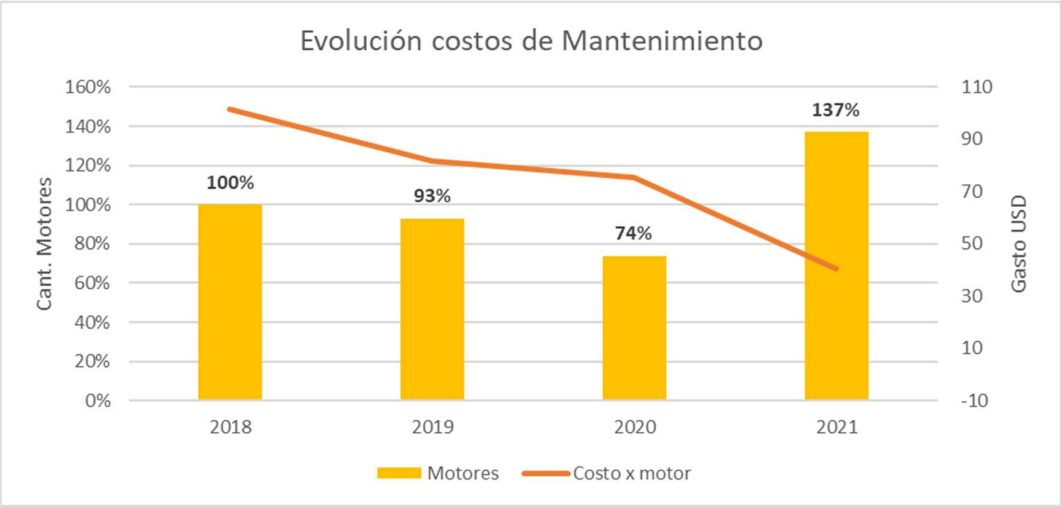


Figura 6.4.1: Evolución de costos de mantenimiento

El trabajar con acciones planificadas hacia aquellos equipos críticos o con baja performance impulsó esta mejora en los costos de mantenimiento, al reducir costos evitables asociados al mantenimiento correctivo.

Capítulo 7

7. Conclusiones

En el entorno de competitividad actual, una gestión eficaz del mantenimiento es fundamental en la estrategia de costos de una empresa, dado que las fallas de los equipos generan altos costos operativos y de mantenimiento. En este sentido, la planificación de una parada de planta para su mantenimiento debe llevarse a cabo dentro de los límites estratégicos de la organización, definiendo el tiempo y la metodología.

Tal como expresó Muganyi & Mbohwa, 2013, las estrategias organizacionales tienen que impulsar la necesidad de tener paradas de mantenimiento y ya no es el momento de tener paradas sólo porque “siempre lo hemos estado haciendo así”. Por lo tanto, un proyecto de parada debe alcanzar el valor para el que se llevó a cabo. ¡Tiene un alto costo permitirse un tiempo de inactividad no planificado!

En los primeros capítulos de esta tesis, introduje definiciones y conceptos del Mantenimiento Productivo Total (TPM), sus indicadores y cómo este programa se enfoca en mejorar la tasa de utilización de los equipos e instalaciones y desde allí cómo contribuye hacia la mejora de los indicadores de las operaciones, brindando de esta manera sustentabilidad al negocio. Por su lado, el modelo matemático de la confiabilidad, la interpretación de la palabra mantenibilidad, y las definiciones de los distintos tipos de mantenimiento, junto a la clasificación de los equipos, brindó las herramientas necesarias y nuevos conceptos para el desarrollo de esta tesis.

Nuestro caso de estudio relevó un crecimiento abrupto de las operaciones de motores en los últimos años impulsado por la alta demanda del sector agrícola. Esto llevó al sector de Mantenimiento a un escenario retador en pos de mantener la disponibilidad de los equipos.

El análisis y procesamiento de datos en más 180 equipos estudiados, fue un factor determinante a la hora de establecer una nueva estrategia de mantenimiento. Este estudio centrado en el análisis de fallas, a través de diferentes metodologías fue la base para el desarrollo de nuestra estrategia, definiendo etapas, responsabilidades y plan de acción.

Este trabajo demostró el alto impacto que trae la incorporación del método de planificación en los equipos, los valores de disponibilidad en el área de Mecanizado superaron valores históricos, los indicadores de MTTR y MTBF de las líneas productivas alcanzaron su objetivo y mantuvieron una tendencia positiva durante todo el año. También se evidenciaron mejoras en la confiabilidad, tal lo demostrado con la aplicación del método Jack Knife en la lavadora de mecanizado, unos de los equipos con mayor tasa de fallas.

Del mismo modo, se obtuvieron mejoras en los indicadores de mantenimiento en los bancos dinamométricos, los valores de MTTR y MTBF demostraron una marcada tendencia positiva y más aún si tenemos en cuenta que estos equipos comenzaron a operar a máxima capacidad durante gran parte del último año.

El resultado de aplicar herramientas estadísticas durante la etapa de análisis de datos, demostró un comportamiento robusto y sustentable de los indicadores, no solo alcanzando las metas establecidas, sino también demostrando altos índices de confiabilidad a pesar de las exigencias derivadas del uso intensivo de los equipos, producto de los altos volúmenes de producción del año 2021.

Con respecto a la evolución de los gastos de mantenimiento y su impacto en el costo del producto, la figura 6.4.1 del capítulo anterior, muestra una reducción del 45% en los gastos de mantenimiento por cada motor producido en el año 2021, respecto al año 2020, permitiendo una oportunidad de mejora en los costos del producto final.

Todo este proceso fue acompañado por la digitalización de los reportes a través del uso de Power BI y la implementación de aplicaciones propietarias de mantenimiento predictivo, brindando agilidad en el análisis de datos, rapidez y efectividad en la toma de decisiones.

La clave para que este cambio cultural cruce a toda la organización consistió en alinear las metas de cada área del negocio buscando la mayor eficiencia operativa, lo cual implica mantener a los equipos con una alta confiabilidad. Esto solo sucederá si los equipos reciben un mantenimiento adecuado y sostenible, es por ello, que todos los involucrados en una organización, desde la alta gerencia hasta llegar a los operadores de los equipos, deben cuidar cada activo de la empresa buscando siempre generar las mayores utilidades en el negocio de la compañía.

Esta tesis ha buscado aportar a los métodos de planificación y programación de los trabajos de mantenimiento durante la parada de planta, en base al análisis de todos los datos históricos relevados, definiendo la estrategia a adoptar para mejorar la

confiabilidad de los equipos. Será importante continuar esta línea de investigación de este trabajo apoyándose en la transformación digital promovida por la Industria 4.0. La implementación de técnicas de Ciencia de Datos permitirá que las aplicaciones sean más precisas en la predicción de resultados. Sus algoritmos embebidos pueden tomar datos históricos para sus predicciones, auxiliando y agilizando de esta manera la toma de las decisiones.

En conclusión, esta tesis estandarizó un proceso de planificación de parada anual el cual muchas veces es visto como un desperdicio. Este trabajo demuestra que parar una planta para su mantenimiento no sólo mejora los indicadores de esta área, sino que también los pilares del OEE, indicador vital para la sustentabilidad de la operación. De esta manera se mejora la eficiencia operativa y sus costos asociados, claves para lograr y sostener la competitividad en el mercado.

Bibliografía

Alberto, L., Gutiérrez, M., & Grupo, A. (2009). *MANTENIMIENTO:Planeación, ejecución y control*.

Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., & Martínez-Loya, V. (2019). Impact Analysis of Total Productive Maintenance. In *Impact Analysis of Total Productive Maintenance*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01725-5

Duffuaa, S. O., & Raouf, A. (2015). Planning and Control of Maintenance Systems. In *Planning and Control of Maintenance Systems*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19803-3

G. Fandel - G. Zapfel. (2019). Modern Production Concepts. In *Psikologi Perkembangan* (Issue October 2013). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Garcia Garrido, S. (2003). *ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMEINTO* (Issue 1). https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004

Levitt, J. (2004). *Managing Maintenance Shutdowns and Outages*. https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=6S2-H2lNS58C&oi=fnd&pg=PR5&dq=%22Joel+Levitt%22&ots=QCZOLsuEgz&sig=a_xLbhTyqcxOTf4G-kSDnls7q6M

Manzini, R., Regattieri, A., Hoang, P., & Emilio, F. (2010). Maintenance for Industrial Systems. In *Springer-Verlag London Limited* (Vol. 53, Issue 9). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Ming J. Zuo • Lin Ma • Joseph Mathew • Hong-Zhong Huang. (2006). Engineering Asset Management. In *Engineering Asset Management*. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-814-2

Morales Méndez, J. D., & Rodriguez, R. S. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *92*(1–4), 1013–1026. https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4

Muganyi, P., & Mbohwa, C. (2013). *Shutdown Maintenance Drivers under an Integrated and Business Focused Maintenance System*. https://ujdigispace.uj.ac.za/handle/10210/12595

Swamidass Paul. (2003). *Innovations in Competitive Manufacturing* (Issue 1). https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004

Anexo A: Registro de ordenes SAP

Not	Año-Mes	Mes	Año	Created on	Notification	User s	Description	Equipment	Description	Sort field	Functional loc.	Order	ABC	Breakdow	Main WorkCtr	Reported by	DescEmpl.Resp.	
M1	2020-09	9	2020	17/09/2020	6687807	9END	falla de clampeo	JXM-6417	Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	A-1309	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031128	A	0,51	ELECTRIC	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	17/09/2020	6687810	7WRK	Falla en plantado de guías de válvulas	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031129	A	0,00	ELECTRIC	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	16/09/2020	6687276	9END	Falla clampeo de pieza	JXM-6417	Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	A-1309	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031205	A	2,00	MECANICO	JX03733	Pablo alberto Giorgio
M1	2020-09	9	2020	16/09/2020	6687414	9END	Se alarma por falla chip blaster	JXM-6960	HMC Makino 3, a-92 S/N #70		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031243	B	0,08	MECANICO	JX03733	Gonzalo javier Ledesma
M1	2020-09	9	2020	16/09/2020	6686698	9END	Verificacion alineacion plantado guias	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031320	A	3,21	MECANICO	JX01588	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	16/09/2020	6687277	9END	Sobre esfuerzo ,falla promes	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031206	A	1,00	MECANICO	JX03733	Gonzalo javier Ledesma
M1	2020-09	9	2020	15/09/2020	6685447	9END	Salta fusible banco 2	JXM-6882	Banco dinamometrico N2	A-1203	JX01-038-003		77200031082	B	0,50	ELECTRIC	JX03709	Fernando andres Garcia
M1	2020-09	9	2020	15/09/2020	6686345	9END	Sobre esfuerzo,falla promes	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031261	A	2,50	MECANICO	JX03733	Pablo alberto Giorgio
M1	2020-09	9	2020	15/09/2020	6685400	9END	Falla promes Y2	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031078	A	1,89	ELECTRIC	JX03545	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-09	9	2020	15/09/2020	6685720	9END	Falla soporte barreno 3	JXM-7593	ALESADORA GROB CIGÜEÑAL		JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031280	A	2,34	ELECTRIC	JX03545	Juan pablo Ramos
M1	2020-09	9	2020	15/09/2020	6685448	9END	No funciona descargador de aceite	JXM-8087	Equipo descargador de aceite		JX01-038-003		77200031083	B	1,27	ELECTRIC	JX03709	Daniel osvaldo Romero
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684458	9END	Falla en pote intermedio	JXM-6393	Mazak CNC FH-8800 A-1290	A-1290	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031104	B	1,26	ELECTRIC	JX03545	Juan pablo Ramos
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684012	9END	Pérdida de presión en pallet 2	JXM-6393	Mazak CNC FH-8800 A-1290	A-1290	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031080	B	1,20	MECANICO	JX03545	Juan pablo Ramos
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684021	9END	Falla ATC	JXM-6412	Mazak CNC FH-8800 A-834	A-834	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031101	B	1,02	ELECTRIC	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684801	9END	Falla en extractor de virutas	JXM-6418	Mori CNC MH 63 A-1015	A-1015	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200031081	B	0,80	ELECTRIC	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684317	9END	alarmas de presostato de clampeo	JXM-6881	Banco dinamometrico N1	A-1202	JX01-038-003		77200031140	B	1,28	ELECTRIC	JX03924	Fernando andres Garcia
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6685106	9END	Sobre esfuerzo 1era vuelta,promes	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031220	A	1,87	MECANICO	JX03733	Pablo alberto Giorgio
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684020	9END	Falla promes Y2	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200031100	A	1,04	ELECTRIC	JX03545	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-09	9	2020	14/09/2020	6684477	9END	No funciona descargador de aceite	JXM-8087	Equipo descargador de aceite		JX01-038-003		77200031123	B	1,00	ELECTRIC	JX03709	Daniel osvaldo Romero
M1	2020-09	9	2020	11/09/2020	6676984	9END	No funcionan bombas,ni electrostaticas	JXM-6890	Inst lavado-pintado-secado motores49002	49002	JX01-038-004-	MAQUINAS	77200030438	B	0,35	ELECTRIC	CB83602	Cristian gabriel Tosi
M1	2020-09	9	2020	11/09/2020	6676610	9END	Falla TDC no funciona.	JXM-6938	Equipo de Medición TDC-Piston Protrusion	A-1331	JX01-038-001-	MAQUINAS	77200030095	A	0,65	ELECTRIC	JX03568	Fernando andres Garcia
M1	2020-09	9	2020	11/09/2020	6676931	9END	Sobre esfuerzo 1era vuelta,se detiene	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030703	A	1,00	MECANICO	JX03733	Pablo alberto Giorgio
M1	2020-09	9	2020	10/09/2020	6674775	9END	No funciona TDC	JXM-6938	Equipo de Medición TDC-Piston Protrusion	A-1331	JX01-038-001-	MAQUINAS	77200030434	A	3,00	MECANICO	JX03568	Javier roberto Carrizo
M1	2020-09	9	2020	10/09/2020	6674781	9END	Vehículo detenido en Makino 1	JXM-6951	Sistema de transferencia Makino #11970		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030436	A	0,36	ELECTRIC	JX03545	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-09	9	2020	10/09/2020	6675625	9END	Falla deteccion de pieza s350	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030351	A	0,67	MECANICO	JX03733	Cristian gabriel Tosi
M1	2020-09	9	2020	10/09/2020	6674776	9END	Falla soporte barreno	JXM-7593	ALESADORA GROB CIGÜEÑAL		JX01-062-062-	MAQUINAS	77200030435	A	6,18	ELECTRIC	JX03545	ANGEL DINO QUIROZ
M1	2020-09	9	2020	09/09/2020	6674472	9END	se detiene 1er vuelta ,sobre esfurzo	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030350	A	0,50	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	09/09/2020	6673589	9END	No funciona -Falla.	JXM-8518	Equipo de control de aros seeger		JX01-038-002-	MAQUINAS	77200030431	C	0,50	MECANICO	JX03568	Fernando andres Garcia
M1	2020-09	9	2020	08/09/2020	6673295	9END	Se detiene ciclo de trabajo	JXM-7358	Equipo de Lavado EISAIRE CR800LLHS		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030389	B	1,50	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	08/09/2020	6672704	9END	Falla en promes Y1 Y2	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030428	A	0,09	ELECTRIC	JX03545	Sergio hector Benitez
M1	2020-09	9	2020	08/09/2020	6673279	9END	Se traba pieza 1era vuelta S450	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030036	A	2,24	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	08/09/2020	6673013	9END	No inicia ciclo de trabajo	JXM-7745	Equipo de Ensayo de fugas S350 JCV		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030035	B	0,33	MECANICO	JX03545	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-09	9	2020	07/09/2020	6671808	9END	Falla en cambio de herramientas	JXM-6412	Mazak CNC FH-8800 A-834	A-834	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200030387	B	2,59	ELECTRIC	JX03545	Juan pablo Ramos
M1	2020-09	9	2020	07/09/2020	6672156	9END	No funciona PLC	JXM-6881	Banco dinamometrico N1	A-1202	JX01-038-003		77200030388	B	1,00	ELECTRIC	CB83602	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	07/09/2020	6672169	9END	se detiene vehiculo ,recuperar	JXM-6951	Sistema de transferencia Makino #11970		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030349	A	1,37	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	07/09/2020	6672014	9END	Bomba de chip blaster dañada	JXM-6961	HMC Makino 4, a-92 S/N #71	MAKINO	JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030369	B	3,75	MECANICO	JX03545	Juan pablo Ramos
M1	2020-09	9	2020	07/09/2020	6671961	9END	Al retirar ANDON, se retiró PLC				JX02-500-001-	DISPOSITIVOS	77200030011		0,37	ELECTRIC	EM16391	EZEQUIEL ALBERTO SANTILLA
M1	2020-09	9	2020	04/09/2020	6664121	9END	Reparar lav piezas varias	JXM-6859	Lavadora de piezas varias-1029	A-1029	JX01-038-001-	MAQUINAS	77200030384	A	0,95	MECANICO	JX03568	Javier roberto Carrizo
M1	2020-09	9	2020	04/09/2020	6664322	9END	No funciona Leak test banco 4	JXM-6884	Banco dinamometrico N4	A-1205	JX01-038-003		77200030423	B	1,10	MECANICO	JX03709	Juan pablo Ramos
M1	2020-09	9	2020	04/09/2020	6664618	9END	no funciona caudalimetro corta ensayo	JXM-6884	Banco dinamometrico N4	A-1205	JX01-038-003		77200029958	B	1,35	MECANICO	JX03924	Daniel osvaldo Romero
M1	2020-09	9	2020	04/09/2020	6665077	9END	Falla cambio de herramientas ,por alarma	JXM-6960	HMC Makino 3, a-92 S/N #70		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030481	B	0,43	MECANICO	JX03733	Pablo alberto Giorgio
M1	2020-09	9	2020	03/09/2020	6663159	9END	falla de clampeo	JXM-6417	Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	A-1309	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200030421	A	1,42	MECANICO	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	03/09/2020	6664012	9END	Falla cambio de herrameintas	JXM-6943	HMC Makino 1, a-92 S/N 78		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030329	B	1,00	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	03/09/2020	6664025	9END	Pierde referencia Promes	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030361	A	0,51	MECANICO	JX03733	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-09	9	2020	03/09/2020	6664013	9END	Pierde referencia Promes	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030330	A	2,14	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	02/09/2020	6662088	9END	Falla en pote intermedio	JXM-6394	Mazak CNC FH-8800 A-1033	A-1033	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200030327	B	0,27	ELECTRIC	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-09	9	2020	02/09/2020	6662794	9END	No funciona aparejo ,lavadora Hidrovap	JXM-7344	Aparejo Demag - 100kg		JX01-062-068-	SIST_IZAJE	77200029970	B	0,82	ELECTRIC	JX03733	Gonzalo javier Ledesma
M1	2020-09	9	2020	02/09/2020	6662489	9END	Falla dosificador de loctite	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030071	A	15,29	MECANICO	JX03733	
M1	2020-09	9	2020	02/09/2020	6662089	9END	Falla en promes Y1	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030328	A	0,24	ELECTRIC	JX03545	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-09	9	2020	01/09/2020	6661547	9END	temperatura de sala alta	JXM-6881	Banco dinamometrico N1	A-1202	JX01-038-003		77200030341	B	2,61	ELECTRIC	JX03965	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	01/09/2020	6660931	9END	cable cortado termocupla agua salida	JXM-6882	Banco dinamometrico N2	A-1203	JX01-038-003		77200030158	B	1,11	ELECTRIC	JX03924	Fernando andres Garcia
M1	2020-09	9	2020	01/09/2020	6661275	9END	Se traba casquillo de S450	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030027	A	0,99	MECANICO	JX03733	Luis raul Fernandez
M1	2020-09	9	2020	01/09/2020	6661413	9END	revisar Locktite	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030159	A	-21,41	MECANICO	JX03733	Walter ignacio Undiner
M1	2020-08	8	2020	31/08/2020	6659234	9END	Fuga por intercooler banco 1	JXM-6881	Banco dinamometrico N1	A-1202	JX01-038-003		77200030045	B	1,83	MECANICO	JX03709	Javier roberto Carrizo
M1	2020-08	8	2020	31/08/2020	6659238	9END	Baja presión de apicom	JXM-6884	Banco dinamometrico N4	A-1205	JX01-038-003		77200030046	B	0,23	MECANICO	JX03709	Dario hernan Vega
M1	2020-08	8	2020	31/08/2020	6660060	9END	Se traba pieza ,salida	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030154	A	4,93	MECANICO	JX03733	Marcelo fabian Pellegrini
M1	2020-08	8	2020	31/08/2020	6660186	9END	Se traba pieza ,ingreso mesa Comau	JXM-7360	Celda COMAU- Equipo Comun S350/S450		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200030155	A	0,03	MECANICO	JX03733	Walter ignacio Undiner
M1	2020-08	8	2020	31/08/2020	6659781	9END	Perno cortado en P&F	JXM-6891	Carro PyF para traslacion de motores XXX		JX01-038-003-	POWER_Y_FRE	77200030048		0,47	MECANICO	JX03709	Sergio hector Benitez
M1	2020-08	8	2020	28/08/2020	6650398	9END	Falla en central hidráulica	JXM-6409	Promecor Alesadora Doble A-818	A-818	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200029703	A	1,50	ELECTRIC	JX03545	Walter ignacio Undiner
M1	2020-08	8	2020	28/08/2020	6650103	9END	Falla en pote intermedio	JXM-6412	Mazak CNC FH-8800 A-834	A-834	JX01-062-062-	MAQUINAS	77200029377	B	1,57	MECANICO	JX03545	Juan pablo Ramos
M1	2020-08	8	2020	28/08/2020	6650365	9END	se apago PLC banco 3	JXM-6883	Banco dinamometrico N3	A-1204	JX01-038-003		77200029752	B	1,66	ELECTRIC	JX03924	Sergio hector Benitez
M1	2020-08	8	2020	28/08/2020	6651418	9END	Se detiene vehiculo sobre M1	JXM-6951	Sistema de transferencia Makino #11970		JX01-062-068-	MAQUINAS	77200029019	A	1,35	MECANICO	JX03733	Gonzalo javier Ledesma

Anexo B: Análisis de modo de falla

Anexo B: Top 5 de equipos por sector - Analisis modos de fallo

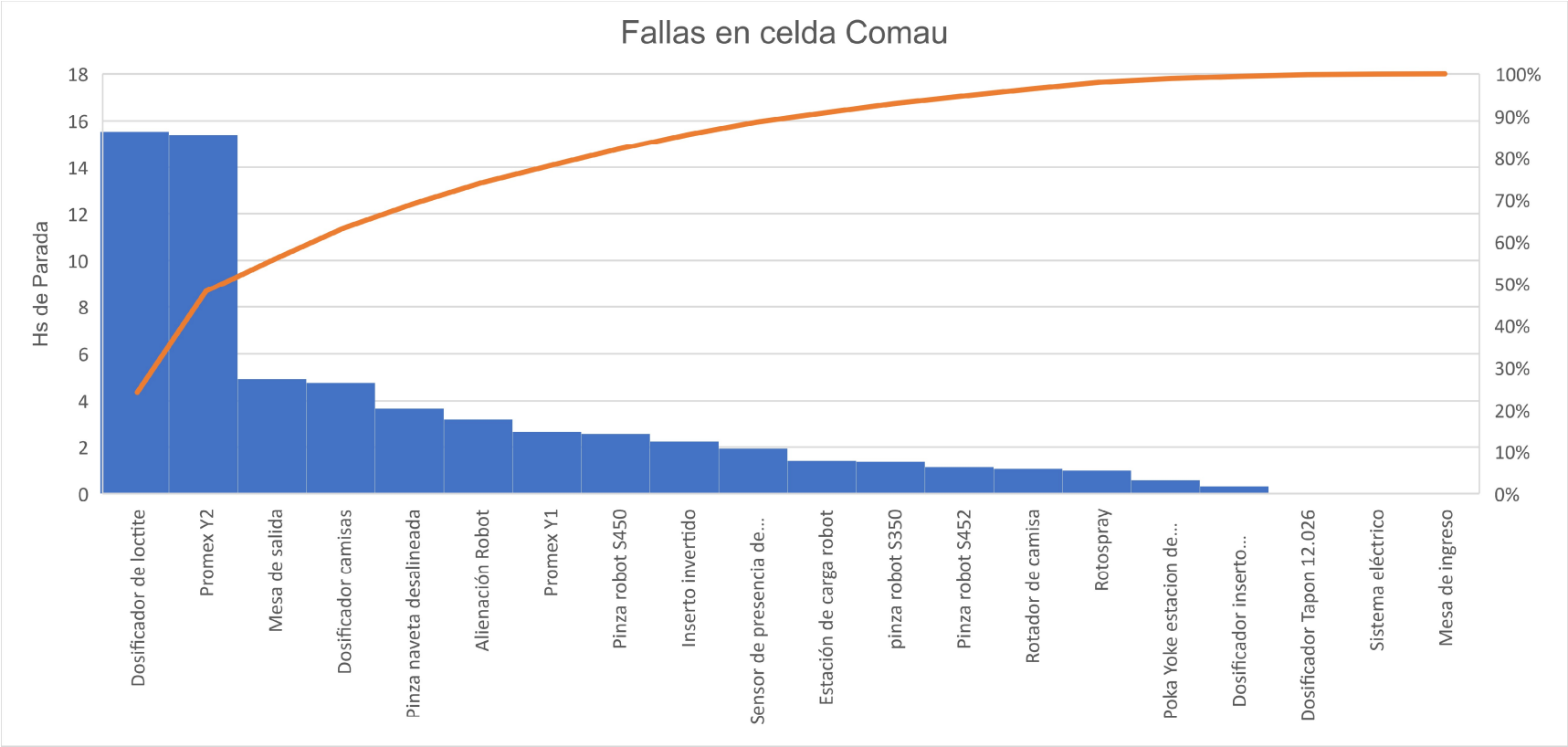
Planning plant	JX01		
Sector	**Blocks**		
Suma de Breakdown dur.	**Etiquetas de columna**		
Etiquetas de fila	**ELECTRIC**	**MECANICO**	**Total general**
Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	54,05	18,97	73,21
Mori CNC MH 63 A-1051	15,46	25,29	40,75
Heller Fresadora SFK 200-2000-11 A-262	14,19	26,1	40,29
ALESADORA GROB CIGÜEÑAL	26,19	11,19	37,38
Promecor Transfer A-941	18,9	9,1	28

Planning plant	JX01		
Sector	**Montaje Motores**		
Suma de Breakdown dur.	**Etiquetas de columna**		
Etiquetas de fila	**ELECTRIC**	**MECANICO**	**Total general**
Torq elect GR EAD280 - 6110.00 - A-1379	12		12
Equipo de Medición TDC-Piston Protrusion	2,99	3	5,99
Cableados 5250.00	4,55		4,55
Lavadora ultrasonica cam cilindro 1276	3,5		3,5
AGV-09	3,26		3,26

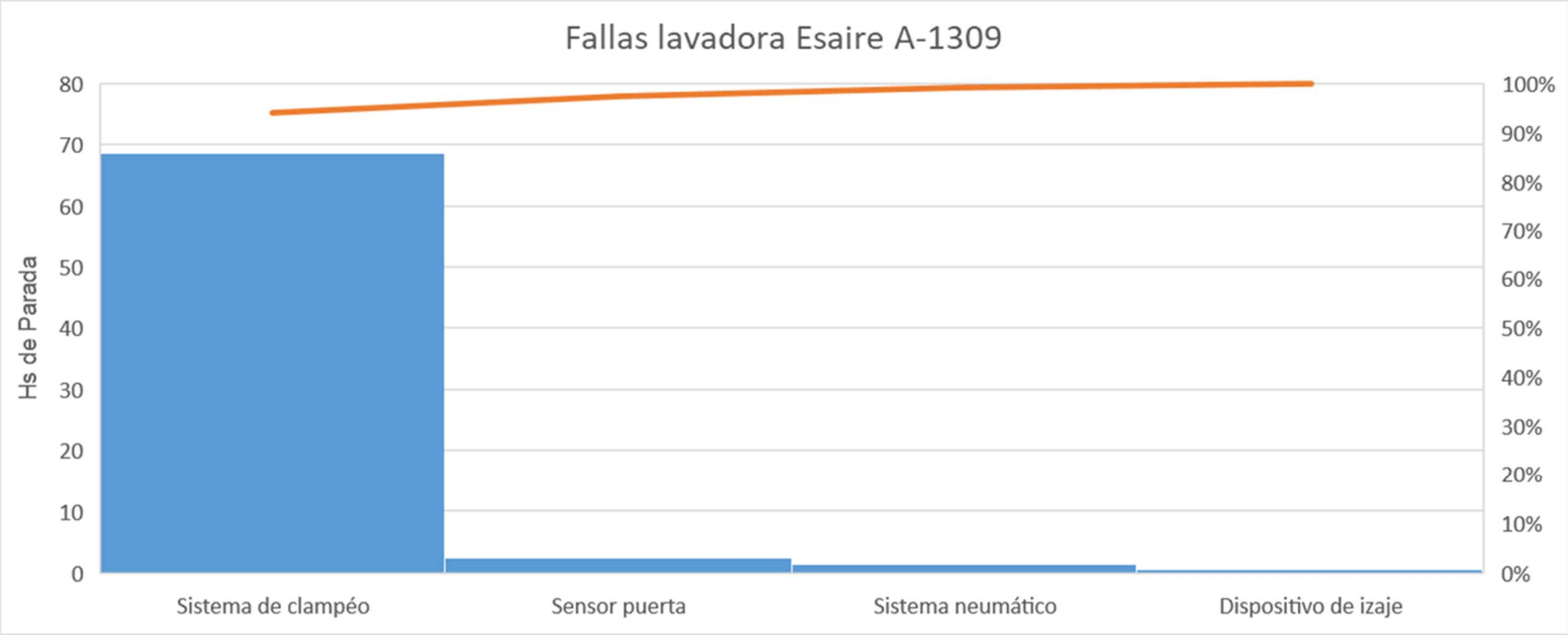
Planning plant	JX01		
Sector	**Cabezas**		
Suma de Breakdown dur.	**Etiquetas de columna**		
Etiquetas de fila	**ELECTRIC**	**MECANICO**	**Total general**
Celda COMAU- Equipo Comun S350/S45	10,88	30,91	41,79
Sistema de transferencia Makino #1197	23,8	11,64	35,44
HMC Makino 4, a-92 S/N #71	8,22	18,11	26,33
Estación de Carga Makino WSS2		12,06	12,06
Equipo de Lavado EISAIRE CR800LLHS	4,47	3,72	8,19

Planning plant	JX01		
Sector	**Montaje Final**		
Suma de Breakdown dur.	**Etiquetas de columna**		
Etiquetas de fila	**ELECTRIC**	**MECANICO**	**Total general**
Banco dinamometrico N4	28,69	41,67	70,36
Banco dinamometrico N3	25,44	19,57	45,01
Banco dinamometrico N1	20,3	20,73	41,03
Banco dinamometrico N2	11,78	16,69	28,47
Inst lavado-pintado-secado motores49002	2,88	11,27	14,15

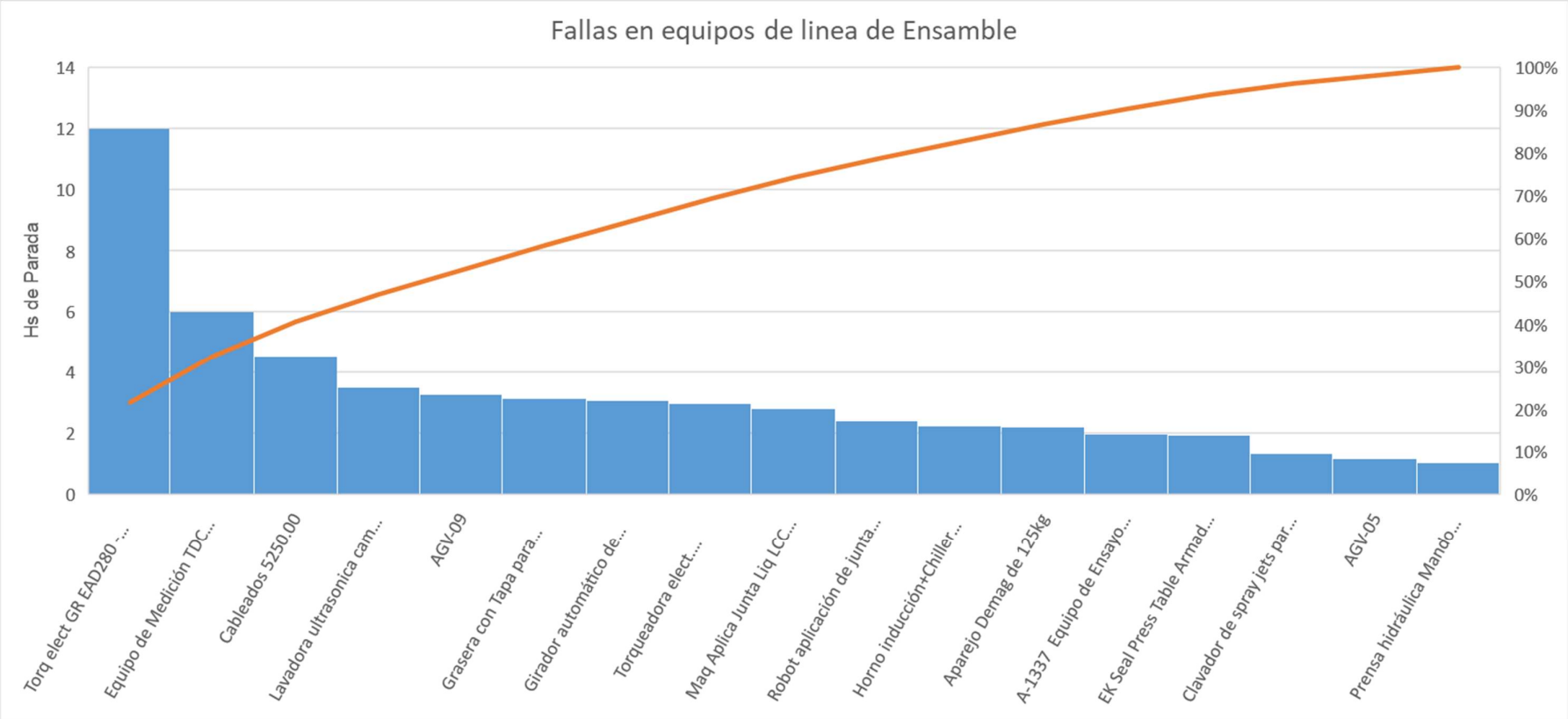
Anexo C: Análisis de fallas en equipo Comau



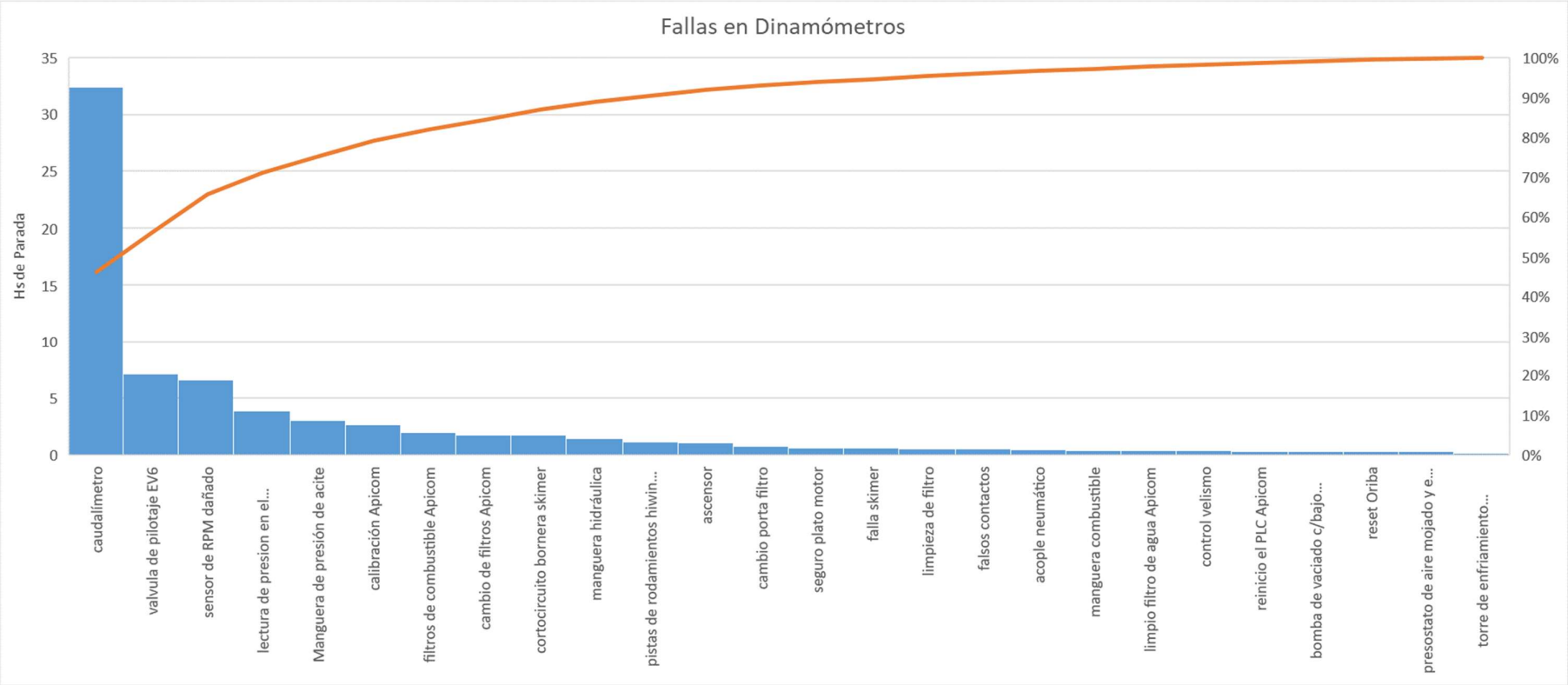
Anexo D: Análisis de fallas lavadora Esaire



Anexo E: Análisis de fallas en línea principal de Ensamble de Motores



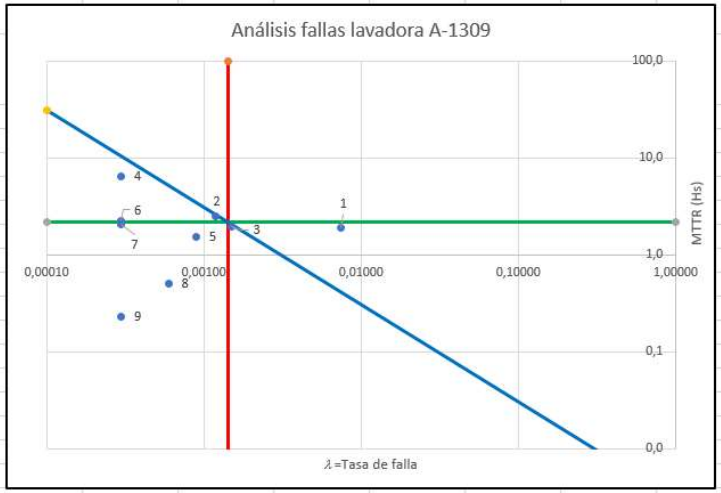
Anexo F: Análisis de fallas en Bancos Dinamométricos



Anexo G: Método Jack Knife en lavadora Esaire A-1309

	Total de horas del equipo Eisaire A-1309 (Nov-May FY21)	3360				
	Subsitemas de la lavadora	**Duración Total (Hs)**	**Total de Fallas**	**Tasa de Fallas**	**MTTR (Hs)**	**Indisponibilidad**
1	sistema de clampéo	48,04	25	0,00744	1,9	0,0143
2	sistema de rotación	10,05	4	0,00119	2,5	0,0030
3	sensor ingreso de pieza	9,69	5	0,00149	1,9	0,0029
4	mangueras sistema de secado	6,4	1	0,00030	6,4	0,0019
5	sistema de estanqueidad	4,56	3	0,00089	1,5	0,0014
6	sistema transfer de salida	2,22	1	0,00030	2,2	0,0007
7	sensores de nivel	2,06	1	0,00030	2,1	0,0006
8	sensores de posición	1	2	0,00060	0,5	0,0003
9	sistema transfer	0,23	1	0,00030	0,2	0,0001
	Promedios generales para el equipo			**0,0014**	**2,1447**	**0,0030**

λ Eje X	**MTTR Eje Y**	
0,0014	0,001	Promedio de la tasa en absisas con los
0,0014	100	limites max y min del eje "y"
0,0001	2,1	promedio MTTR en ordenadas con los
1	2,1	limites max y min del eje "x"
0,0001	30,5	indisponibilidad promediada entre las
1	0,0030	ordenadas con los limites max y min



$$Indiponibilidad = MTTR*\lambda$$

$$\lambda = \frac{Indisponibilidad}{\lambda}$$

Anexo H: ACR Falla de clampéo en lavadora Esaire A-1309

		ACR		**Estado:**	**Cerrada**
Equipo Nombre:	Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	**Sector:**	JX01-062-062-MAQUINAS		
N° SAP:	JXM-6417	**Componente:**			
Horas de Parada:	5,98	**N° orden:**	77200040534		
Fecha de Parada:	3/3/2021	**Fecha de Realización ACR:**	10/3/2021		
Descripción:	Falla clampeo de mesa				
Texto largo:	03.03.2021 14:25:06 CST Javier alejandro Tricerri (JX03733)SISTEMA DE PIEZAS TRANSPO/Transportistas/Problemas Mecanicos/Atascado/Atorado/03.03.2021 20:22:19 CST Luis raul Fernandez (FL02510)Cilindro trabados.Se límpia y se lubrica, queda en funcionamiento.				

Análisis de la Causa Raíz

1er.- ¿Por qué?	2º.- ¿Por qué?	3er.- ¿Por qué?	4º.- ¿Por qué?	5o.- ¿Por qué?
Sistema mecánico de clampéo trabado	desalineación del sistema	bujes con desgaste	falta de lubricación	los bujes no poseen puntos de lubricación
Causa Raíz	Los bujes no poseen sistema delubricación, lo cual produce desgaste en los mismos trabando el sistema de clampéo			

Causas Adicionales contributivas: (En caso de que exista)

Los pistones neumáticos y los tubos de tecalan poseen pérdidas, bajando el rendimiento del sistema neumático de accionamiento del clampeo.

Brainstorming (Tormenta de ideas)

Idea #1: Realizar ingeniería sobre los bujes para adicionar un sistema de lubricación

Idea #2: Colocar bujes nuevos y alinear el sistema

Idea #3: Cambiar Tubo Manguera Poliuretano por tubo Manguera de Poliamida 11 TECALAN, mayor resistencia a las condiciones de uso

Idea #4: Ver la posibilidad de colocar pistones neumaticos de mayor capacidad

Idea #5:

Idea #6:

Idea #7:

efectividad	difícil	fácil
alta	2, 4	1, 3
baja		

implementación

Tarea	Responsable	Date	Status
1- Realizar ingeniería sobre los bujes para adicionar un sistema de lubricación	Jorge R	19/3/2021	Terminada
2- Fabricación y colocación de bujes nuevos	Angel Garcia	22/4/2021	Terminada
3-Cambiar Tubo Manguera Poliuretano por tubo Manguera de Poliamida 11 TECALAN	Angel Garcia	20/3/2021	Terminada
4-Ver la posibilidad de colocar pistones neumaticos de mayor capacidad	Jorge R	15/1/2022	Terminada

Anexo I: ACR Falla puerta de ingreso en lavadora Esaire A-1309

		ACR		Estado:	Cerrada
Equipo Nombre:	Eisaire Lavadora Spray rotativa A-1309	**Sector:**	JX01-062-062-MAQUINAS		
N° SAP:	JXM-6417	**Componente:**			
Horas de Parada:	5,86	**N° orden:**	77200043052		
Fecha de Parada:	12/4/2021	**Fecha de Realización ACR:**	15/4/2021		

Descripción: Falla ingreso de pieza

Texto largo: 12.04.2021 22:48:18 CST Javier alejandro Tricerri (JX03733)SISTEMA DE PIEZAS TRANSPO/General/Problemas Mecanicos/Descompuesto/13.04.2021 04:38:40 CST Juan pablo Ramos (JX03865)se encontro falla en el sensor del tope de entrada el cual no marcaba. se detecta que esto sucedia porque (al estar en produccion blocks de 4 cilindros) el block se apollaba solo en dos rolos que estaban muy desalineados. se alinean se regula y sujeta correctamente la posicion del sensor a escuadra. tambien se detecta la falta de uno de los tetones localizadores (sureste, se encontro en el piso de la lavadora) con el tornillo cortado al ras. se retira el pedazo de tornillo y se coloca uno nuevo. funcionamiento normalizado

Análisis de la Causa Raíz

1ero ¿Por qué?	2º.- ¿Por qué?	3ero ¿Por qué?	4º.- ¿Por qué?	5o.- ¿Por qué?
La pieza no apoya en el tope próximo al sensor	los rolos de i ingreso están desalineados	rodamientos en rolos con desgaste de pistas y bolas	mala lubricación	tubos de lubricación estan tapados

Causa Raíz: el sistema de lubricación no llega a lubricar correctamente los rodamientos al tener los tubos de lubricación tapados por la misma grasa seca

Causas Adicionales contributivas: (En caso de que exista)

ambiente agresivo por temperatura y solución de lavado

Brainstorming (Tormenta de ideas)

Idea #1: Cambiar los rodamientos dañados

Idea #2: Reemplazar todos los tubos de lubricación (buscar material mas adecuado al ambiente de trabajo)

Idea #3: Crear preventivo de revisión del los correctos puntos de lubricación

Idea #4:

Idea #5:

Idea #6:

Idea #7:

efectividad	difícil	fácil
alta	1, 2	3
baja		

implementación

Tarea	Responsable	Date	Status
1- Cambiar los rodamientos dañados	Angel Garcia	23/4/2021	Terminada
2 - Reemplazar todos los tubos de lubricación (buscar material mas adecuado al ambiente de trabajo)	Angel Garcia	23/4/2021	Terminada
3 - Crear preventivo de revisión del los correctos puntos de lubricación	Jorge Rosas	23/4/2021	Terminada