

Manejo en la Frecuencia de los Mantenimientos Preventivos “runtime” y Fijos del Departamento de “Downstream”: “Geldipping, Coating & Printing”

*Nikyshaliz Velázquez Velázquez
Maestría en Manufactura Competitiva
Rafael Nieves, Pharm D.
Departamento de Ingeniería y Sistemas
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *McNeil Healthcare es una farmacéutica encargada de manufacturar Tylenol para tratar molestias y dolores. Durante los pasados 3 años se encuentra atravesando dificultades con el cumplimiento de los planes de producción y la alta demanda del cliente, ante la emergencia del COVID-19. Se identificó que los equipos de manufactura estaban siendo poco eficientes, generando grandes cantidades de desperdicios y periodos extendidos de “downtimes”, a pesar de los mantenimientos preventivos fijos y “runtime” que se realizan con regularidad. Los mantenimientos preventivos son ajustes, inspecciones, reemplazo de piezas, limpieza y recomendaciones del fabricante programados para mantener eficiente y operable el equipo. Utilizamos la metodología DMAIC para desarrollar e implementar un plan de acción y resolver el problema. A través de los datos recopilados y la ayuda del personal técnico, se identificó que se debía ajustar la frecuencia de ambos mantenimientos para obtener mejor eficiencia de nuestros equipos y cumplir los requerimientos del cliente.*

Términos claves - *Mantenimientos fijos, Mantenimientos preventivos, Mantenimientos “runtime” y Método DMAIC.*

EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

McNeil Healthcare es una farmacéutica ubicada en el municipio de Las Piedras y es la principal manufacturera de Tylenol en el mundo. Este medicamento se utiliza para aliviar el dolor de las cefaleas, dolores musculares, períodos menstruales, resfriados, dolores de garganta, muelas, espalda, así como de las reacciones a las vacunas (inyecciones) y para reducir la fiebre.

Debido al virus del COVID-19 nos hemos visto obligados a aumentar nuestra producción a su máxima capacidad. Sin embargo, con la gran demanda que existe en el mercado, nos resulta complicado poder alcanzar estos altos números y nos vimos en la necesidad de activar producción todos los días de la semana para manufacturar y cumplir con la alta demanda. Debido al alza en producción y la alta demanda de nuestros productos, se ha visto un despunte en las fallas mecánicas, desperdicios generados y desgaste de los equipos de manufactura. Es por esta razón, que estamos buscando la manera de evaluar un ajuste en las frecuencias de los mantenimientos preventivos para poder continuar con nuestra producción de la más alta calidad.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A través del proyecto, se buscará manejar las diferentes frecuencias de los mantenimientos preventivos (PM’s) para el beneficio de obtener mejores resultados de producción y evitar roturas graves de las maquinarias. Actualmente, se realizan 2 tipos de PM’s a los equipos de manufactura del área de “Downstream”, los cuáles son: fijos y “runtime”. Los mantenimientos “runtime” son órdenes de trabajo preventivo que se realizan cada ciertas horas de corridas aproximadas (ej. equivalente a 3 meses, 6 meses y 1 año) y son mantenimientos muy necesarios para poder mantener el equipo en buen estado y/o funcionamiento. Los mantenimientos preventivos fijos son aquellas órdenes de trabajo rutinarias que se realizan fijamente cada cierto tiempo (ej. semanales, bisemanal, mensuales, entre otros) y básicamente, su propósito es mantener los equipos monitoreados y en control. Cabe recalcar, que se ha observado una tendencia con relación a los

mantenimientos “runtime” y los mantenimientos fijos. Los mantenimientos preventivos “runtime” se realizan mucho más afondo mecánicamente, dónde se busca atacar las partes críticas de los equipos para brindarle el mejor mantenimiento posible y de este modo, evitar fallas mecánicas y/o intervenciones de reparaciones profundas. No obstante, los mantenimientos fijos son aquellos asignados para verificar los equipos superficialmente, sin entrar en profundidad mecánica y sin cotejar los equipos a detalle. Estos mantenimientos son asignados fijamente a los mecánicos operadores para cotejar los equipos e informar de observar alguna irregularidad. Sin embargo, durante cada turno y entre cada producción de lotes, los operadores que se encuentran constantemente manufacturando cotejan e inspeccionan sus equipos y según su registro de manufactura, deben notificar a su líder de observar daños y/o problemas con los equipos, instrucción muy similar a las tareas de los PM’s fijos. En la Tabla 1 se presentan los PM’s a evaluar.

Tabla 1
PM’s del área de “Downstream”

Frecuencia	Equipos	Clasificación	Tareas por PM’s:
Anual	“Gelpacs” #1-4	“Runtime”	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplace los “bearings” del Main Drive. • Inspeccione que no tenga juego el “Feed System Bushing”. De tener que cambiar genere una orden de trabajo. • Limpie, inspeccione y lubrique el “Feed System Gear Browning” (verifique que no tenga juego o desgaste). • Reemplace y luego, lubrique todos los “bearings” fijas. • Reemplace el “cam follower” del “Cam Plate Transfer #1”. • Inspeccione por desgaste y lubrique los “Pinion Gear” y el “Sector Gear” del “Plate Transfer #1”. • Inspeccione que el “shaft assembly” del “Lift Section” no esté doblado o con desgaste. • Inspeccione y lubrique el “feeder gear segment” del “Plate Indexing Feed Load” (verifique que no tenga desgaste). • Inspeccione los “mounting rollers” del “Feed System”. • Inspeccione y lubrique el “cam follower” del “Index Taper” en el “Plate Index Feed Load”. • Limpie, inspeccione y lubrique el engranaje del “Index Taper” (verifique por desgaste, que no tenga juego). • Verifique la lubricación del motor del “OPT Lift”. • Evalúe la condición de los “rollers”, el diagrama de proceso y equipo basado en las condiciones actuales de los “rollers” (reemplázalos de ser necesario).
Bimensual	“Gelpacs” #1-4	Fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione las guías que no estén rotas, ni estalladas y que los tornillos sean los apropiados (deben estar completos). • Inspeccione, limpie y lubrique el “Cam Plate”. • Inspeccione que las mica del “Feeder” no estén rotas, ni estalladas (reemplace de ser necesario). • Inspeccione el área del “Plate Index” por exceso de grasa en la pilettera (remueva el exceso de ser necesario). • Inspeccione las luminarias y cubiertas de las animas en la máquina (repare de ser necesario). • Inspeccione y ajuste la condición de los componentes mecánicos del “Feeder Bar” (repare y ajuste de ser necesario).
6 meses	“Gelpacs” #1-4	“Runtime”	<ul style="list-style-type: none"> • Limpie, inspeccione y asegure el “sosa system gear-renewing” vengase que no tenga juego o desgaste. • Inspeccione por desgaste y lubrique los “Pinion Gear” y el “Sector Gear” del “Plate Transfer #1”. • Inspeccione (por desgaste) el “sprocket” de 15. • Inspeccione que el “bearing radial” no esté seco, estallado, torcido o roto (reemplace de ser necesario). • Inspeccione que la caja de bolitas no esté seca, estallada, torcida o roto (reemplace de ser necesario). • Inspeccione y lubrique el “feeder gear segment” del “Plate Indexing Feed Load” (verifique que no tenga desgaste). • Reemplace el filtro de la línea de aire comprimido. • Inspeccione el “cam follower” del “Cam Plate Transfer #1”. • Repare las guías, los “covers” y sus mecanismos de “interlock” si no están en buenas condiciones operacionales (reemplazar de ser necesario). • Verifique que la funcionalidad del “timer” sea de 3 a 7 minutos (crear una orden correctiva de ser necesario). • Verifique la condición del soporte de la tina (repare de ser necesario). • Verifique la condición de la correa (crear una orden correctiva de ser necesario). • Repare las guías, los “covers” y sus mecanismos de “interlock” si no están en buenas condiciones y operacionales. • Inspeccione las uniones del lubricador de líneas y evalúe el nivel del aceite (ajuste de ser necesario).
Bimensual	“Ink Shaker”	Fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique el funcionamiento del “timer” sea de 3 a 7 minutos (crear una orden correctiva de ser necesario). • Verifique la condición del soporte de la tina (repare de ser necesario). • Verifique la condición de la correa (crear una orden correctiva de ser necesario). • Repare las guías, los “covers” y sus mecanismos de “interlock” si no están en buenas condiciones y operacionales.
Bimensual	“Line Lubricator”	Fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccione las uniones del lubricador de líneas y evalúe el nivel del aceite (ajuste de ser necesario).
Semanal	“Sorters” #11, 14, 15, 17	Fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Equípese el “Vacillator Crank” a través de los “Timing” localizados en la parte posterior del “Sorter”. • Verifique que ningún tornillo de la máquina este suelto (ajuste de encontrar alguno suelto). • Verifique la subidas de los tornillos del “Plate Index” y repare de ser necesario generando una orden de “Follow-Up”. • Repare las guías, los “covers” y sus mecanismos de “interlock” si no están en buenas condiciones y operacionales.
Semanal	“Printer Machines” #18, 17, 12, 8	Fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique el funcionamiento de los “E-Stop” (reemplace de estar defectuosos). • Verifique el ajuste de todos los tornillos de la máquina (ajuste de ser necesario). • Repare las guías, los “covers” y sus mecanismos de “interlock” si no están en buenas condiciones y operacionales. • Verifique todos los mecanismos de sincronización y accionamiento por signos de desgaste (reemplace de ser necesario).

Se estará proponiendo un ajuste de frecuencias para cada división de PM’s. Para los PM’s “runtime” se buscará disminuir las horas (aumentar

frecuencia) en que se asignarían, ya que a través de los pasados 2 años han ocurrido un sin número de situaciones por fallas mecánicas, ocasionando problemas con los planes de producción y atrasando los procesos. Para los PM’s fijos se propone una frecuencia más flexible (disminuirla), ya que también hemos recibido “feedback” de los operadores mecánicos que realizan las órdenes de trabajo y no han identificado fallas o daños a los equipos. Además, estos mantenimientos al no adentrar a fondo en la parte mecánica, nos permiten la flexibilidad de moverlos y ahorrar ese tiempo en otras tareas mecánicas asignadas a estos recursos.

CRONOLOGÍA Y CONTRIBUCIONES DEL PROYECTO

La investigación del proyecto de diseño se llevó a cabo, utilizando el método DMAIC y se completó en un periodo de 3 meses (desde agosto a octubre del 2023). Refiérase a Tabla 2 y Figura 1 para obtener más detalles sobre la información brindada.

Implementar una frecuencia adecuada a cada mantenimiento preventivo, reduciría enormemente los tiempos de interrupciones no planificados, aumentaría la producción en una alta escala y la eficiencia de los equipos, provocando ganancias financieras, disminuiría los gastos en “overtime” y les permitirá a los técnicos y/o mecánicos a distribuir de una mejor manera sus tareas en las áreas.

Tabla 2
Metodología DMAIC

	Metodología DMAIC	Cronología
DEFINIR	Definir el proyecto, el plan, su alcance y los recursos disponibles.	13-20 de agosto 2023
MEDIR	Fase de medir y/o encontrar el proceso a seguir.	20-31 de agosto 2023
ANALIZAR	Analizar y recopilar datos recopilados.	1-21 de septiembre 2023
INNOVAR	Diseñar y proponer un plan de proyecto.	21-25 de septiembre 2023
CONTROL	Someter e implementar el Proyecto para que se cumpla el objetivo deseado.	octubre 2023

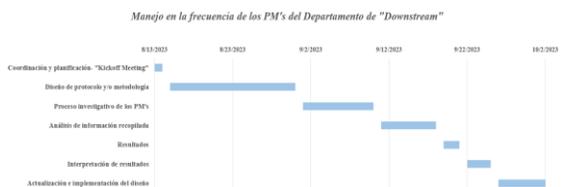


Figura 1
Cronología del Diseño de Proyecto

REVISIÓN LITERARIA

El mantenimiento preventivo industrial (PM's) es el conjunto de operaciones y/o técnicas encargadas del control y conservación de los equipos e instalaciones, con el fin de mantenerlos en funcionamiento durante el máximo tiempo al menor costo posible [1]. Por ello, a la hora de realizar el mantenimiento siempre se deben tener en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante de dichos equipos, desde la recepción del equipo hasta su instalación y puesta en marcha. Entre las funciones de mantenimiento se pueden destacar los siguientes puntos:

- Monitoreo periódico del funcionamiento de los equipos.
- Acción correctiva, que consiste esencialmente en la reparación de equipos dañados o defectuosos.
- Medidas preventivas, incluida la intervención en los equipos antes de que se produzcan errores.
- Trabajo con herramientas y repuestos.

Los objetivos relacionados a los mantenimientos preventivos son: mejorar el rendimiento del equipo, reducir los costos de producción, mejorar la seguridad de los empleados y brindar cooperación a otros departamentos relacionados (ingeniería, facilidades, utilidades, entre otros) para la implementación de nuevos proyectos. Básicamente, el propósito de los PM's es brindar un servicio rutinario a los equipos para prevenir desperfectos mecánicos, evitar roturas mayores y mantener al día el estado del equipo. El mantenimiento correctivo es la estrategia de mantenimiento más antigua y común hasta la fecha.

Un informe reciente de Senseye encontró que las grandes instalaciones pierden un promedio de 27 horas al mes, debido al tiempo de inactividad de las máquinas, lo que les cuesta \$532,000 dólares por hora de tiempo de inactividad no planificado [1]. Las empresas necesitan una estrategia y/o gestión para evitar fallos inesperados que provoquen costosos tiempos de inactividad no planificados. Las empresas implementan estrategias

de PM planificando y programan actividades de mantenimiento basadas en datos operativos en tiempo real utilizando un sistema computarizado de gestión de mantenimiento. Los cuatro tipos principales de mantenimientos preventivos son: basado en el tiempo, basado en el uso, predictivo y prescriptivo [1]. Además, los sistemas de mantenimiento preventivo también contribuyen a:

- Reparar y mejorar periódicamente el rendimiento del sistema antes de que se estropee (reducir el deterioro).
- Reducir el tiempo de inactividad del equipo.
- Ampliar el ciclo de vida de los activos.
- Mejorar el cumplimiento de OSHA y la seguridad en el lugar de trabajo.
- Evitar el consumo energético excesivo o anormal.
- Maximizar el ahorro en costos de mantenimiento.
- Asignación y uso eficiente de los recursos.
- Seguimiento y planificación de inventario mejorados.

Para cumplir con los objetivos de los de PM's, se deben conocer los conceptos básicos que son los primordiales al momento de realizar dichas tareas: lubricación, desgaste y obsolescencia programada.

Lubricación

La lubricación consiste en una operación de mantenimiento que reduce la fricción y el desgaste de los equipos industriales [2]. El propósito de la lubricación de engranajes es: promover el deslizamiento entre los dientes y reducir el coeficiente de fricción, limitar el aumento de temperatura causado por la fricción por rodadura y deslizamiento y ayudar a evitar defectos como desgaste de los dientes y fallos prematuros.

Existen tres métodos comunes de lubricación de engranajes:

- Lubricación con grasa- Adecuada para cualquier sistema de engranajes abiertos o cerrados siempre que funcione a bajas velocidades.
- Lubricación por pulverización- Se utiliza en sistemas cerrados. Los engranajes giratorios

rocían grasa sobre el sistema de engranajes y los cojinetes.

- Lubricación por circulación forzada de aceite- Utiliza una bomba de aceite para aplicar grasa a las partes de contacto de los dientes del engranaje.

No existe mejor lubricante ni método. La elección depende de la velocidad tangencial (m/s) y de la velocidad de rotación (rpm). A bajas velocidades, la lubricación con grasa es una buena opción. Para velocidades medias y altas, la lubricación por salpicadura y la lubricación por circulación forzada de aceite son más adecuadas, pero hay excepciones. Sin embargo, en ocasiones se utiliza grasa incluso a altas velocidades con fines de mantenimiento.

La lubricación con grasa se puede utilizar a baja velocidad/cargas ligeras, pero la aplicación regular de grasa es importante, especialmente para engranajes de servicio abierto. Dado que la cantidad de aceite lubricante puede disminuir o agotarse con el tiempo, son necesarias inspecciones periódicas para reemplazar o reponer el aceite lubricante. El uso de lubricantes en condiciones inadecuadas puede provocar daños en los dientes de los engranajes. Las propiedades de los lubricantes son: viscosidad correcta y adecuada, anti-rayados, oxidación y estabilidad térmica, anti-afinidad del agua, antiespumante y anticorrosión.

El 80% de las averías de las máquinas son consecuencias de fallos de lubricación. Es decir, por emplear un lubricante inadecuado e incluso por un exceso o falta de lubricación que puede desembocar en graves consecuencias para la maquinaria [2]. En las áreas de “Downstream” se utilizan las siguientes grasas para la lubricación de los equipos:

- Quinplex® H1 (4025-4022) es una grasa semisintética adecuada para una amplia gama de temperaturas de funcionamiento, fuerte como para resistir la humedad, altas temperaturas, presión extrema y de gran durabilidad. La grasa semisintética protege contra la humedad y otras condiciones

adversas en las plantas de fabricación de alimentos [3].

- Almagard® 3752 es una grasa roja de larga duración con resistencia al agua, duradera y rendimiento de funcionamiento en frío. Puede extender significativamente el intervalo de lubricación, prevenir fallas del rodamiento y extender la vida útil del rodamiento 3 veces y no se endurecerá con el tiempo.

Desgaste

El desgaste y las fallas de los componentes de las máquinas son algo común, ya sea una falla menor de mantenimiento o una rotura mayor. Al revisar un análisis de fallas en 1974 como parte de un programa de mantenimiento predictivo a gran escala, se utilizó el monitoreo de vibraciones y pulsos de choque para descubrir periódicamente defectos en el soporte del motor y muchos otros problemas. No obstante, la vida útil del motor no mejoró realmente hasta que iniciamos un programa de análisis de fallas y las recompensas fueron enormes. En una planta con 2,200 motores, la vida útil promedio de los motores se duplicó con creces. Algunos componentes, como las zapatas de freno, las correas y las cadenas, fallan lentamente durante varios años debido al desgaste [4]. Otras piezas como pernos, ejes y bastidores de máquinas nunca deben fallar. En más del 90% de los casos industriales, el personal capacitado puede aplicar técnicas básicas de análisis de fallas para diagnosticar la causa mecánica de una falla sin depender de fuentes externas o equipos analíticos costosos como microscopios electrónicos [4].

Al analizar las causas de fallas de las máquinas, como corrosión, desgaste y fatiga, podemos identificar que pueden ocurrir errores en cualquier etapa del diseño, fabricación y uso. Los defectos que ocurren durante la etapa de diseño pueden tener varias causas: los requisitos funcionales reales no están claramente establecidos entre el diseñador y el cliente, las instrucciones de operación y servicio, restricciones de uso, enclavamientos y mitigación de sobrecarga y cuando el peso ligero o el bajo costo son

importantes, el margen de seguridad necesariamente disminuye.

A pesar de cálculos y procedimientos de prueba más rigurosos, todavía es necesario correr algunos riesgos, pero no por ignorancia o negligencia. Los defectos técnicos pueden ser causados por los siguientes factores: errores de diseño debido a la falta de datos confiables o mala interpretación de variaciones en las propiedades del material y calor durante la etapa de fabricación u operación posterior de la máquina. Además, los componentes fallan por fatiga, debido al inicio y propagación progresiva de grietas y/o fracturas provocadas por la aplicación de cargas variables. Las pruebas y análisis tradicionales de las propiedades de fatiga de los materiales se centran en determinar el nivel de tensión nominal máximo requerido para iniciar una grieta en un número determinado de ciclos de tensión. Los componentes fallan debido a la iniciación de grietas (o defectos) y a la fatiga progresiva causada por las fluctuaciones de carga. Las pruebas y análisis tradicionales de las propiedades de fatiga de los materiales se centran en determinar el nivel de tensión nominal máximo requerido para iniciar una grieta en un número determinado de ciclos de tensión.

Obsolescencia

La obsolescencia planificada es el momento donde la maquinaria envejece, se vuelve obsoleta o ya no es apta para su propósito. A medida que los equipos envejecen, las piezas y repuestos pueden resultar difíciles de obtener debido a sus altos costos de adquisición. Además, las reparaciones mecánicas pueden resultar costosas y llevar mucho tiempo. Sin embargo, reemplazar máquinas antiguas a menudo no es tan fácil por razones de costo, funcionalidad de la máquina o compatibilidad con la tecnología e infraestructura. Dado que la maquinaria obsoleta es costosa, la empresa está a la vanguardia en la evaluación del riesgo de obsolescencia en la fabricación. Crear un plan de obsolescencia a largo plazo específico para su organización le permite integrar la gestión de la

obsolescencia en su estrategia comercial para establecer prioridades, reducir riesgos y controlar costos. Esto ayuda a identificar riesgos inmediatos, así como oportunidades para modernizar o extender la vida útil de las máquinas existentes.

Un estudio global reciente encontró que el 82% de las empresas pierden alrededor de 2 millones debido al tiempo de inactividad. La mayoría de las empresas informan al menos un incidente de tiempo de inactividad no planificado en los últimos tres años y esto les cuesta a las empresas aproximadamente \$260,000 por hora [5]. No hay mayor beneficio para una empresa que evitar pérdidas de ventas fácilmente evitables. Si planifica con anticipación, podrá estar al tanto de sus planes de obsolescencia y mejorar su reputación ante su base de clientes. El mantenimiento preventivo, cuando se planifica y ejecuta bien, puede reducir ampliamente los costos generales de mantenimiento y aumentar la productividad [6].

METODOLOGÍA

A través del diseño de este proyecto se utilizó el método DMAIC, siendo una herramienta de investigación para mejorar el rendimiento de los procesos. Esta metodología forma parte de las herramientas de Six Sigma para ejecutar un proyecto con éxito.

- **Definir:** Fase enfocada en definir el proyecto, el plan, su alcance, los recursos disponibles, el calendario y seleccionar claramente aquellos requisitos del cliente y/o negocio. Además, se informa sobre el estado actual, el objetivo de la investigación, la necesidad del cliente y los beneficios de la implementación del proyecto.
- **Medición:** Analizaremos y consideraremos el proceso de los PM's ya implementados en la actualidad para determinar e identificar si existe una manera de lograr los resultados deseados de obtener una mayor producción y continuar brindándoles el mejor mantenimiento posible a nuestros equipos de manufactura. Las frecuencias que necesitan ajustes fueron identificadas a través de "feedbacks" de los

mecánicos operadores y técnicos cualificados que son el personal encargado de realizar estos mantenimientos. Se recopiló información y datos a través de las órdenes de trabajos generadas sobre la frecuencia de los fallos mecánicos en los diferentes equipos de manufactura, la magnitud de los problemas mecánicos y las cantidades de desperdicios generados por problemas y/o fallas través de los pasados años de lotes manufacturados.

- Análisis:** Consiste en crear especificaciones basadas en la definición de la empresa sobre la meta que se quiere alcanzar. Se define el proceso de una manera mensurable, lo que permite recopilar datos y compararlos con los requisitos especificados. Analizaremos y clasificaremos la información recopilada para identificar si realmente necesitamos ajustar las frecuencias de los diferentes mantenimientos y si la información encontrada apoya nuestra propuesta.
- Innovación:** Se implementará la solución en base al análisis de las causas principales y la recopilación de los datos encontrados. Exponemos los beneficios que se obtendrán al implementar el cambio en las frecuencias de los PM's. También, se van a sugerir las nuevas frecuencias y se diseñará una matriz de esfuerzo e impacto para demostrar el impacto que tendrá la implementación del proyecto de diseño sugerido.
- Control:** Se buscará asegurar la sostenibilidad de los resultados encontrados e identificar si los resultados cumplen o superan las expectativas del cliente y los requisitos de la empresa. Se va a proponer un plan de implementación inmediata para poner en acción el proyecto diseñado y obtener los beneficios, buscando satisfacer las necesidades del cliente. Finalmente, se gestionará un plan de monitoreo para medir las mejoras de los nuevos procesos y un plan de respuesta en caso de que alguna vez se identifique desempeño negativo en los equipos de manufactura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección proporciona un análisis y discusión de los resultados sobre el problema planteado y cómo se logró el diseño e implementación del ajuste en las frecuencias de los PM's fijos y "runtime" del área de "Downstream".

Definir

Se utilizó la herramienta SIPOC para capturar y recopilar información sobre el proceso, estructurando el propósito del proyecto de diseño (Figura 2). No obstante, se creó un diagrama de Voz del Cliente (VOC) para describir el problema en términos de las mayores necesidades del proceso, las expectativas del cliente e identificar los esfuerzos de mejora. A través del diagrama, se identificaron las características y especificaciones importantes del proceso (Figura 3).

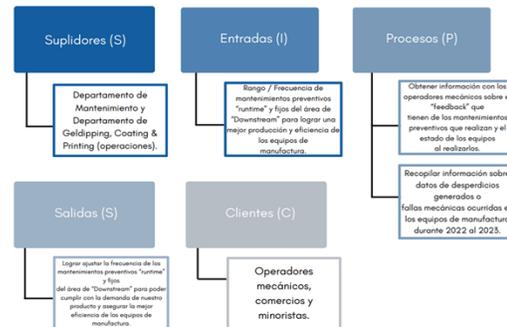


Figura 2
Diagrama SIPOC

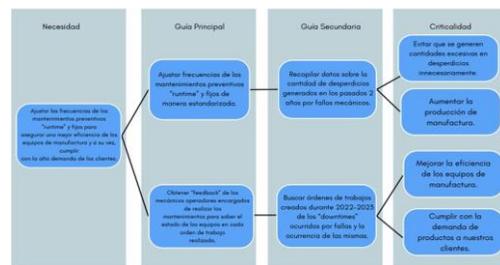


Figura 3
Diagrama de Voz del Cliente (VOC)

Medición

Se identificaron los mecánicos operadores asignados al Departamento de "Downstream" para un total de 10 recursos, dónde fueron entrevistados para obtener su opinión en base en su experiencia laboral con los equipos de manufactura y sus

diferentes fallas mecánicas. Al final de tomar el “feedback” de cada uno de ellos, se les hizo una pregunta que fue tabulada a través de una gráfica, dónde expresan si se debería tomar en consideración ajustar las diferentes frecuencias de los mantenimientos preventivos “runtime” y fijos que se les son asignados para de este modo, asegurar una mejor eficiencia de los equipos, evitar fallas mecánicas constantes y poder cumplir con nuestros planes de manufactura (Figura 4).

En resumen, todos los operadores mecánicos coincidieron con la preocupación del desgaste de los piñones del mecanismo principal. La falta de mantenimientos con la frecuencia adecuada y la poca o ninguna lubricación causa el desgaste de los piñones prematuramente, lo que causaría problemas en el tiempo de la máquina, incluyendo roturas más graves. En otros casos, la grasa antigua necesita ser reemplazada, ya que se contamina con el producto que manufacturamos, desperdicios y/o residuos de polvo (sucio), llevando a la grasa a perder sus propiedades de lubricación, causando problemas mecánicos y “downtimes”.

Por otro lado, en el caso de PM’s “runtime” del área de “Geldipping”, se recopiló información de los años 2022-2023 sobre los rendimientos obtenidos en todas las “Gelcaps”, dónde se puede identificar a simple vista aquellos lapsos en que el rendimiento de las máquinas tuvo un declive en promedio de eficiencia y en todos estos casos se deben a fallas mecánicas ocurridas (Figuras 5 y 6). Adicionalmente, se incluye una tabla que indica la cantidad de órdenes de trabajo (WO’s) generados por problemas mecánicos en las diferentes “Gelcaps” (Tabla 3). En el caso de los PM’s fijos, se incluye una gráfica de una búsqueda realizada en ambos departamentos para poder identificar si en alguna de las ocasiones se encontró alguna falla mecánica con los equipos que son evaluados durante estos PM’s (Figura 7). Se adjunta una tabla sobre la cantidad de horas en cuánto a la duración aproximada de cada PM fijo y el ahorro de horas anuales que obtendrán los operadores mecánicos de cada área al llegarse a implementar la reducción en la frecuencia de estos PM’s (Tabla 4).

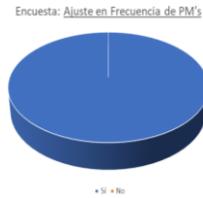


Figura 4

Resultados de Encuesta realizada a Operadores Mecánicos

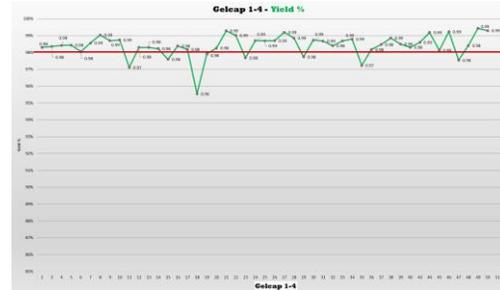


Figura 5

Rendimiento Promedio de las “Gelcaps” #1-4 para el 2022



Figura 6

Rendimiento Promedio de las “Gelcaps” #1-4 para el 2023

Tabla 3

WO’s generados por Fallas Mecánicas durante 2022-2023

Equipo (ID)	Descripción	Cantidad de WO generados
7156	Gelcap #1	88
7168	Gelcap #2	93
7181	Gelcap #3	90
7191	Gelcap #4	112

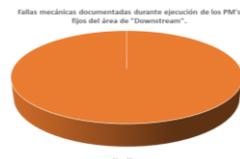


Figura 7

Hallazgos de los PM’s Fijos de las Pasadas 52 Semanas

Tabla 4

Duración por cada PM y Horas que se estarían ahorrando Anualmente

Frecuencia	Equipos	Duración PM’s	Ahorro anual de horas por equipo (hrs.)
Bisemanal	“Gelcaps” #1-4	1 hora c/u	14 hrs. c/u = 56 hrs.
Semanal	“Sorters” #11, 14, 15, 17	1 hora c/u	26 hrs. c/u = 104 hrs.
Semanal	“Printer Machines” #8, 12, 17, 18, 21	1 hora c/u	26 hrs. c/u = 130 hrs.
Bisemanal	“Ink Shaker”	1 hora	14 hrs.
Bisemanal	“Line Lubricator”	1 hora	14 hrs.
Total de horas anuales ahorradas:			318 hrs.

Análisis

Se recopilaron los datos de los desperdicios generados en el área de “Geldipping”, debido a las diferentes fallas mecánicas ocasionadas durante los años 2022-2023 (Figuras 8 y 9). Durante el proceso investigativo se identificó a través de finanzas que existe una pérdida monetaria aproximada de \$0.5 M, por cada 1% de desperdicio generado. Además, se presentan una serie de gráficas que identifican tiempos perdidos por diferentes códigos que generan las “Gelcaps” a causa de fallas mecánicas (Figuras 10-13).

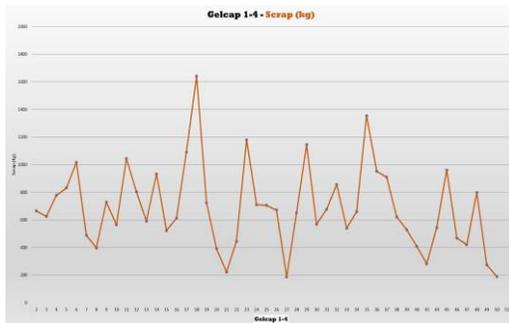


Figura 8

Desperdicios generados, debido a Fallas Mecánicas del 2022

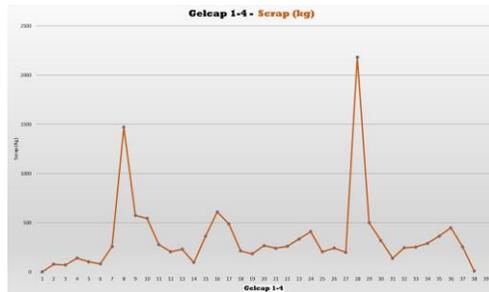


Figura 9

Desperdicios generados, debido a Fallas Mecánicas del 2023

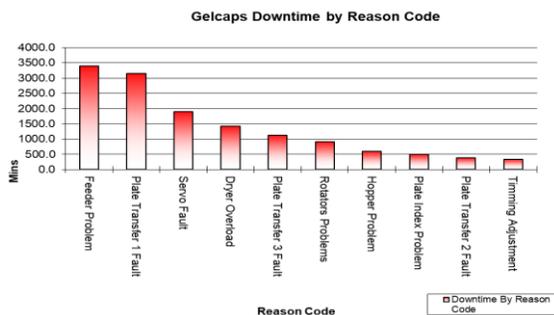


Figura 10

“Downtimes” por códigos en las “Gelcaps”, debido a Fallas Mecánicas durante el 2022

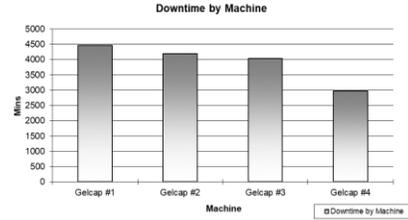


Figura 11

“Downtimes” en las “Gelcaps”, debido a Fallas Mecánicas ocurridas durante el 2022

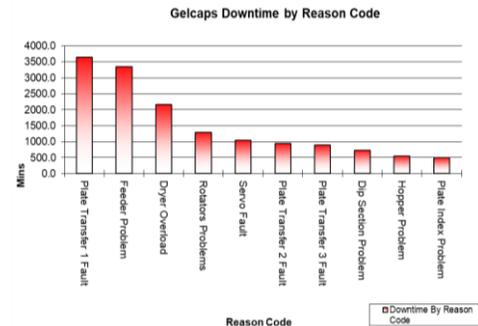


Figura 12

“Downtimes” por códigos en las “Gelcaps”, debido a Fallas Mecánicas durante el 2023

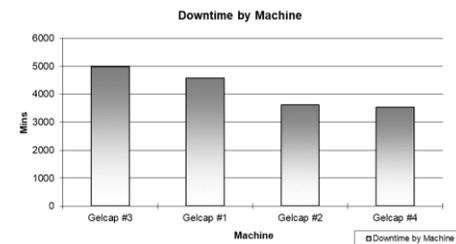


Figura 13

“Downtimes” ocurridos en las “Gelcaps”, debido a Fallas Mecánicas ocurridas durante el 2023

Innovación

Durante esta sección, se creó un diagrama que sugiere los ajustes en las frecuencias de ambos tipos de PM's, basado en la información recopilada y discutida a través del artículo. Los datos nos afirman que para los PM's “runtime” su frecuencia debe ser aumentada y en el caso de los PM's fijos, debe ser disminuida. Adjunto todas las frecuencias sugeridas (Figura 14).

Por otro lado, se creó una matriz de impacto y esfuerzo para alinear prioridades y mantener el proyecto encaminado, mientras reducimos la pérdida de tiempo y energía. A través de esta herramienta ayudaremos a optimizar el tiempo y los recursos limitados (Figura 15).

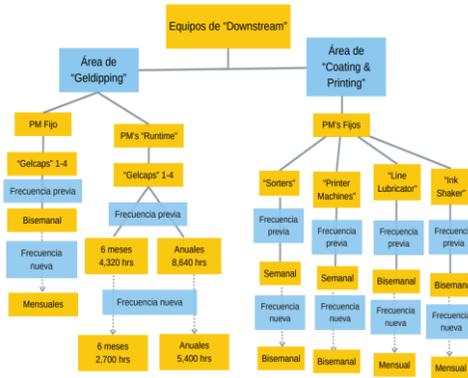


Figura 14
Sugerencia de Ajustes en la Frecuencia de los PM's

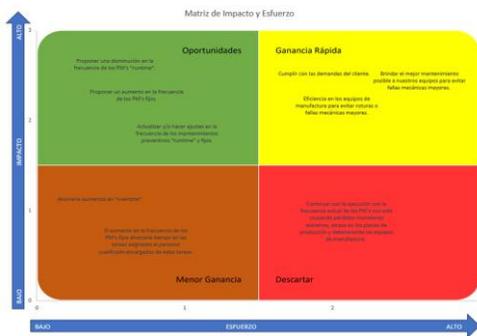


Figura 15
Matriz de Impacto y Esfuerzo

Control

Presentamos un plan de implementación inmediata para poner efectivo el ajuste en el cambio de frecuencia de los PM's lo antes posible. A través del apoyo de "Technical Operations" se crearon varios "Service Requests (SR)" dónde fueron plasmadas las ideas para comenzar con el proceso de evaluación e implementación del proyecto. Se espera que ya sea evaluado y aprobado para finales de este año. Adicionalmente, se gestionó un plan de monitoreo en el área de "Downstream" para mantener la comunicación con nuestros recursos técnicos y mecánicos para futuras recomendaciones una vez se implemente el proyecto, evaluar las mejoras de los nuevos procesos y un plan de respuesta (solicitud de cambio) en caso de que alguna vez se identifique algún desempeño negativo en nuestros equipos de manufactura (Figuras 16-21).

Service Request Details
1548866: Change Based Frequency for the Sorters in Coating & Printing area

This service request is to perform the following actions:

- Change the Based Frequency for the PM's related to Sorters 11, 14, 15, 17 in Coating & Printing area from 7 days to 14 days (refer to Figure 1).
- Change the status for the current Job plans as listed in Figure 1 to INACTIVE and create new ones with the new frequency.

Attachments:

- Refer to Figure 1 that contains all the information related to PM's with the actual frequency and the proposed frequency. Also, include the asset numbers of all equipment's that will be affected.

Justifications:

- The frequencies are being modified according to an assessment completed of the PM's history about mechanical repair evaluation, so that the PM will be executed with a lower frequency recommended by the mechanical and technical specialists.
- The current Job plans contain the frequency in the group, so to be able to make the change you have to create new groups of Job plans and deactivate the current ones.

Actual	Actual	Actual	Actual
Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset

IBM.

Figura 16
SR para Ajuste de Frecuencia en los PM's Fijos de los "Sorters"

Service Request Details
1548867: Change Based Frequency for the Line Lubricator in Coating & Printing area

This service request is to perform the following actions:

- Change the Based Frequency for the PM's related to the Line Lubricator in Coating & Printing area from 14 days to monthly (refer to Figure 1).
- Change the status for the current Job plans as listed in Figure 1 to INACTIVE and create new ones with the new frequency.

Attachments:

- Refer to Figure 1 that contains all the information related to PM's with the actual frequency and the proposed frequency. Also, include the asset numbers of all equipment's that will be affected.

Justifications:

- The frequencies are being modified according to an assessment completed of the PM's history about mechanical repair evaluation, so that the PM will be executed with a lower frequency recommended by the mechanical and technical specialists.
- The current Job plans contain the frequency in the group, so to be able to make the change you have to create new groups of Job plans and deactivate the current ones.

Actual	Actual	Actual	Actual
Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset

IBM.

Equipo (ID)	Descripción de equipo	PM	Frecuencia actual	Frecuencia sugerida
19191	Sorter #11	LP-1009050	semanal	bisemanal
10008887	Sorter #14	LP-1000826	semanal	bisemanal
10006447	Sorter #15	LP-1000888	semanal	bisemanal
10006990	Sorter #17	LP-1007252	semanal	bisemanal

Figura 17
SR para Ajuste de Frecuencia en PM Fijo del "Line Lubricator"

Service Request Details
1548868: Change Based Frequency for the Ink Shaker in Coating & Printing area

This service request is to perform the following actions:

- Change the Based Frequency for the PM's related to the Ink Shaker in Coating & Printing area from 14 days to monthly (refer to Figure 1).
- Change the status for the current Job plans as listed in Figure 1 to INACTIVE and create new ones with the new frequency.

Attachments:

- Refer to Figure 1 that contains all the information related to PM's with the actual frequency and the proposed frequency. Also, include the asset numbers of all equipment's that will be affected.

Justifications:

- The frequencies are being modified according to an assessment completed of the PM's history about mechanical repair evaluation, so that the PM will be executed with a lower frequency recommended by the mechanical and technical specialists.
- The current Job plans contain the frequency in the group, so to be able to make the change you have to create new groups of Job plans and deactivate the current ones.

Actual	Actual	Actual	Actual
Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset

IBM.

Figura 18
SR para Ajuste de Frecuencia en PM Fijo del Ink Shaker"

Service Request Details
1548869: Change Based Frequency for the Printer Machines in Coating & Printing area

This service request is to perform the following actions:

- Change the Based Frequency for the PM's related to the Printer Machines 16, 17, 12, 8, 21 in Coating & Printing area from 7 days to 14 days (refer to Figure 1).
- Change the status for the current Job plans as listed in Figure 1 to INACTIVE and create new ones with the new frequency.

Attachments:

- Refer to Figure 1 that contains all the information related to PM's with the actual frequency and the proposed frequency. Also, include the asset numbers of all equipment's that will be affected.

Justifications:

- The frequencies are being modified according to an assessment completed of the PM's history about mechanical repair evaluation, so that the PM will be executed with a lower frequency recommended by the mechanical and technical specialists.
- The current Job plans contain the frequency in the group, so to be able to make the change you have to create new groups of Job plans and deactivate the current ones.

Actual	Actual	Actual	Actual
Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control	Equip. Control
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset
Target Asset	Target Asset	Target Asset	Target Asset
Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset	Actual Asset

IBM.

Equipo (ID)	Descripción de equipo	PM	Frecuencia actual	Frecuencia sugerida
16207	Printer Machine #16	LP-1007593	semanal	bisemanal
13136	Printer Machine #17	LP-1001753	semanal	bisemanal
19191	Printer Machine #12	LP-1008436	semanal	bisemanal
13138	Printer Machine #8	LP-1008460	semanal	bisemanal
10048392	Printer Machine #21	LP-1028791	semanal	bisemanal

Figura 19
SR para Ajuste de Frecuencia en los PM's Fijos de las "Printer Machines"

Service Request Details
 1042363 Service Request Frequency for Gelscaps in Coldapping area (LP-1024766, LP-1024768, LP-1024767, LP-1024769)

This service request is to perform the following actions:

- Change the Meter Based Frequency for the PM's related to Gelscaps in Coldapping area as listed in Attachment 1.
- Change the status for the current Job plans as listed in Attachment 1 to INACTIVE and create new ones with the new frequency.

Attachments:
 Attachment 1 contains all runtimes PM's with the actual frequency and the proposed frequency. Also, include the asset numbers of all equipment's that will be affected.

Justifications:
 The frequencies are being modified according to the average hours that a designated areas works, so that the PM is executed in the recommended time by the equipment manufacturers.
 The current job plans contain the frequency in the group, so to be able to make the change you have to create new groups of Job plans and inactivate the current ones.

Asset	Asset ID	Asset Name	Asset Type
Target Count	1024766	LP-1024766	LP-1024766
Actual Count	1024766	LP-1024766	LP-1024766
Target Date	10/23/22	10/23/22	10/23/22
Actual Date	10/23/22	10/23/22	10/23/22
Target Time	10:00:00	10:00:00	10:00:00
Actual Time	10:00:00	10:00:00	10:00:00

Service Request Details
 1042363 Service Request Frequency for Gelscaps in Coldapping area (LP-1024766, LP-1024768, LP-1024767, LP-1024769)

Equipo (ID)	Descripción de equipo	PM	Frecuencia actual (Drs.)	Frecuencia sugerida (Drs.)
7156	Gelscap #1	LP-1024766	4,320	2,700
7168	Gelscap #2	LP-1024768	4,320	2,700
7191	Gelscap #3	LP-1024767	4,320	2,700
7191	Gelscap #4	LP-1024768	4,320	2,700

Equipo (ID)	Descripción de equipo	PM	Frecuencia actual (Drs.)	Frecuencia sugerida (Drs.)
7156	Gelscap #1	LP-1024766	6,480	6,480
7168	Gelscap #2	LP-1024768	6,480	6,480
7191	Gelscap #3	LP-1024767	6,480	6,480
7191	Gelscap #4	LP-1024768	6,480	6,480

Figura 20
 SR para Ajuste de Frecuencia en los PM's "runtime" de las "Gelscaps"

Service Request Details
 1042363 Service Request Frequency for Gelscaps in Coldapping area (LP-1024766, LP-1024768, LP-1024767, LP-1024769)

This service request is to perform the following actions:

- Change the Meter Based Frequency for the PM's related to Gelscaps 1-4 in Coldapping area from 14 days to monthly (refer to Figure 1).
- Change the status for the current Job plans as listed in Figure 1 to INACTIVE and create new ones with the new frequency.

Attachments:
 Refer to Figure 1 that contains all the information related to PM's with the actual frequency and the proposed frequency. Also, include the asset numbers of all equipment's that will be affected.

Justifications:
 The frequencies are being modified according to an assessment completed of the PM's history about mechanical repair incidents, so that the PM will be executed with a lower frequency recommended by the mechanical and technical specialists.
 The current Job plans contain the frequency in the group, so to be able to make the change you have to create new groups of Job plans and inactivate the current ones.

Asset	Asset ID	Asset Name	Asset Type
Target Count	1024766	LP-1024766	LP-1024766
Actual Count	1024766	LP-1024766	LP-1024766
Target Date	10/23/22	10/23/22	10/23/22
Actual Date	10/23/22	10/23/22	10/23/22
Target Time	10:00:00	10:00:00	10:00:00
Actual Time	10:00:00	10:00:00	10:00:00

Equipo (ID)	Descripción de equipo	PM	Frecuencia actual (Drs.)	Frecuencia sugerida (Drs.)
7168	Gelscap #1	LP-1024766	6,480	6,480
7168	Gelscap #2	LP-1024768	6,480	6,480
7191	Gelscap #3	LP-1024767	6,480	6,480
7191	Gelscap #4	LP-1024768	6,480	6,480

Figura 21
 SR para Ajuste de Frecuencia en los PM's fijos de las "Gelscaps"

CONCLUSIÓN

El mantenimiento preventivo es un fundamento pilar de la industria manufacturera. Los beneficios son claros en términos de eficiencia operativa, seguridad, calidad del producto y rentabilidad. Las empresas que adoptan este enfoque proactivo no sólo minimizan el riesgo y los costos, sino que también construyen una base sólida para un crecimiento sostenible. Después de todo, los PM's no son sólo una inversión en equipos, sino también en el éxito a largo plazo de su negocio en un entorno industrial competitivo y en evolución.

Se concluye que efectivamente existía una necesidad de ajustar las frecuencias de los PM's fijos y de "runtime". Para los "runtime", los datos nos confirmaron que durante los pasados 2 años, hubo un sin número de problemas mecánicos reportados que afectaron la eficiencia de nuestros equipos, provocando problemas con los planes de

producción, un alza en la cantidad de desperdicios generados y a causa de esta situación, no podíamos cumplir con la alta demanda del cliente ante la emergencia de COVID-19. Al aumentar la frecuencia de estos mantenimientos, nos aseguramos como compañía de proteger nuestros equipos, evitando roturas de gran escala y previniendo tiempo perdido no planificado. Para los PM's fijos se determinó que no era necesario realizarlos en el tiempo previamente establecido y que se debía disminuir su frecuencia. No se encontraron reparaciones mayores, ni fallas mecánicas durante la ejecución de estos mantenimientos durante 52 semanas. Discutimos que el personal cualificado para realizar estas órdenes de trabajo no adentra en ejecución técnica o mecánica en los equipos, más bien inspeccionan cada máquina e informan de identificar algún problema. Para este caso, dicha tarea la completan los operadores de cada equipo al comienzo de cada turno, ya que sus procedimientos los guían a inspeccionar sus equipos y notificar a sus Supervisores de observar algún problema que afecte la calidad de nuestros productos y la ejecución de nuestras máquinas.

REFERENCIAS

- [1] Johnson, N. (2022). What is preventive maintenance? A comprehensive guide. Maintenance World. Disponible en: <https://maintenanceworld.com/2022/11/11/what-is-preventive-maintenance-a-comprehensive-guide/>
- [2] Barin. (2022, octubre 24). Importancia de la Lubricación en Mantenimiento Industrial. Disponible en: <https://www.barin.es/actualidad/2022/importancia-lubricacion-mantenimiento-industrial/>
- [3] McNeil Healthcare. Item # 4025-tube, H1 Quinplex® Food Machinery Lubricant 4025 on lubrication engineers. Lubrication Engineers. (s.f.). Disponible en: https://products.lubricants.com/item/grease/h1-quinplex-food-machinery-lubricant-4025-4022/4025tube?gclid=EAIaIQobChMirPcWtJaFgQMV59vICh1DmAuZEAYASAAEgIGF_D_BwE
- [4] Sachs, N. (s.f.). Reduced wear and failure of machine components: Failure Analysis of Mechanical Components. Maintenance World. Disponible en: <https://maintenanceworld.com/2013/07/03/failure-analysis-of-mechanical-components/>

- [5] Houghton International. (2020). Manufacturing: Managing obsolescence and Ageing Machines. NOF. Disponible en: <https://www.nof.co.uk/news/2020/november/manufacturing-managing-obsolescence-and-ageing-machines/>
- [6] Jiménez Raya, Fernando. (2015). Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. elem0311. IC Editorial. Disponible en: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5635930>