

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MAQUINARIAS CRÍTICAS EN INDUSTRIAS LAVCO S.A.S

JOHAN JAVIER QUINTERO DUARTE

ID: 000269294

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

2020

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
MAQUINARIAS CRÍTICAS EN INDUSTRIAS LAVCO S.A.S

JOHAN JAVIER QUINTERO DUIARTE

ID: 000269294

PRÁCTICA DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTORA DEL PROYECTO

DRA. AGR. SANDRA PATRICIA CUERVO ANDRADE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA
2020

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Pontificia Bolivariana para optar al título de ingeniero mecánico.

Jurado

Jurado

Floridablanca, 22 de mayo de 2020

DEDICATORIA

*A Dios, por traerme hasta este punto, tras muchos caminos y decisiones, siempre
estando presente en mi vida.*

*A mi madre, por enseñarme que nunca he de rendirme y que la resiliencia es una
virtud de grandes espíritus.*

A mi padre, por enseñarme que el trabajo duro y honesto siempre rinde sus frutos.

*A mi hermano, por el apoyo, consejos y debates que dieron forma a esto, así
como a muchas otras cosas de quien ahora soy.*

A Laura, luz en el camino, por brindarme paz a cada instante.

*A Brayam Santamaría, un amigo invaluable, quien “me siguió la cuerda” durante
un largo camino previo, que entre tantas cosas terminó en esto.*

*A Jonathan Duarte, un hombre invencible, que nunca tiene hambre, frío ni sueño
cuando se trata de apoyar a un amigo.*

*A todos aquellos a quienes las vueltas de la vida han puesto en mi camino, para
marcar mi vida y mi corazón.*

Johan Javier Quintero Duarte

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma mater, que durante estos años me ha brindado los caminos que llevan al conocimiento y el deseo incesante de aprender.

A aquellos que componen la Facultad de Ingeniería Mecánica, quienes con sus acciones apoyan el crecimiento de esas mentes, que han de ser la representación viva de su trabajo como mentores y guías.

A aquellos docentes con quienes pude establecer una amistad y me dieron un poco de su sabiduría en cada charla, pues son aquellas pequeñas acciones las que marcan las grandes diferencias.

A la profesora Sandra, por su infinita paciencia y comprensión durante todo éste proceso, ha de saber que está en mis más grandes afectos y le admiro con grandeza, tanto su rigor académico, como el amor por todo lo que hace.

A Industrias LAVCO, así como todo el personal que la compone, por darme la oportunidad de aprender, desarrollar mis habilidades y por la confianza depositada en el proceso.

A todos y cada uno de quienes apoyaron éste, al igual que muchos otros proyectos personales.

CONTENIDO

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1 GENERALIDADES DE LAVCO S.A.S.....	13
1.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	14
2 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA	15
3 ALCANCE.....	17
4 JUSTIFICACIÓN.....	18
5 OBJETIVOS.....	19
5.1 OBJETIVO GENERAL:	19
5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:	19
5.3 OTRAS ACTIVIDADES.....	20
6 MARCO TEÓRICO	21
6.1 MANTENIMIENTO.....	21
6.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	21
6.3 COSTO DE MANTENIMIENTO	22
6.4 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	22
6.5 CONFIABILIDAD	23
6.6 PLAN DE MANTENIMIENTO.....	23
6.7 MANTENIMIENTO DE OPORTUNIDAD	24
6.8 PARADA DE PLANTA	24
7 METODOLOGÍA	25
7.1 FASE 1 - RECONOCIMIENTO DE ESTADO	25
7.2 FASE 2 – IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUBSISTEMAS.....	26
7.3 FASE 3 - GENERACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ...	26
8 ACTIVIDADES POR DESARROLLAR	28
9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
9.1 FASE 1 - RECONOCIMIENTO DE ESTADO	29
9.1.1 Actualización de base de datos de solicitudes de mantenimiento.....	32
9.1.2 Revisión de historial de solicitudes de mantenimiento del 2019.....	34
9.1.3 Comparación de datos históricos con matriz de criticidad.....	49

9.2	IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUBSISTEMA	52
9.2.1	REVISIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y PARTES DE EQUIPOS CNC	52
9.2.2	SUBDIVISIÓN DE EQUIPOS EN SUBSISTEMAS, SEGÚN SU TIPO Y FUNCIÓN	53
9.3	GENERACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	57
9.3.1	PRIORIZACIÓN DE ACTIVIDADES Y DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS	57
9.3.2	GENERACIÓN DE CRONOGRAMA DINÁMICO.....	63
9.4	OTRAS ACTIVIDADES.....	65
9.4.1	Planta eléctrica.....	65
9.4.2	Consumo de energía reactiva.....	69
9.4.3	Inspección eléctrica subestación, mecanizado y fundición	74
9.4.4	Gestión de información de mantenimiento.....	78
10	DISEÑO CONCEPTUAL DE QUEMADOR	81
11	CONCLUSIONES	83
12	RECOMENDACIONES	84
13	BIBLIOGRAFÍA	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama.....	14
Figura 2 Formato de solicitud de mantenimiento.....	29
Figura 3 Hoja de control para archivo física..	30
Figura 4 Solicitudes de mantenimiento extraviadas. .	31
Figura 5 Categorización propuesta de primer nivel	37
Figura 6 Categorización propuesta de segundo nivel - Área de máquina 1.....	37
Figura 7 Categorización propuesta de segundo nivel - Área de máquina 2.....	38
Figura 8 Diagrama relacional propuesto	39
Figura 9 Solicitudes área mecanizado - por especialidad.....	41
Figura 10 Solicitudes área mecanizado - por tipo.....	41
Figura 11 Solicitudes área mecanizado convencional - por especialidad..	42
Figura 12 Solicitudes mecanizado convencional - por tipo.	42
Figura 13 Solicitudes área industrial y mantenimiento - por especialidad.....	43
Figura 14 Solicitudes área industrial y mantenimiento - por tipo.....	43
Figura 15 Solicitudes área fundición (hornos, turbinas, briquetadora) - por especialidad.	44
Figura 16 Solicitudes área fundición (hornos, turbinas, briqueteadora) - por tipo.....	44
Figura 17 Solicitudes área fundición (centrífugas) - por especialidad.....	45
Figura 18 Solicitudes área fundición (centrífugas) - por tipo.....	45
Figura 19 Solicitudes en otros equipos - por especialidad.....	46
Figura 20 Solicitudes en otros equipos - por tipo.	46
Figura 21 Mantenimiento LAVCO - por tipo.....	47
Figura 22 Mantenimiento LAVCO - por especialidad.....	47
Figura 23 Equipos de mayor frecuencia de falla – 2019.....	50
Figura 24 Sistemas de Rectificadora M017.....	54
Figura 25 Sistemas de Rectificadora M018.....	55
Figura 26 Sistemas de Tornos CNC.....	56
Figura 27 Mensaje emergente de alertas de solicitudes	64
Figura 28 Retiro y cargue de planta eléctrica.	66
Figura 29 Reporte de inspección de planta eléctrica.	68
Figura 30 Inspección en subestación.	75
Figura 31 Reporte de inspección en mecanizado y fundición.....	77
Figura 32 Reporte individual de mantenimiento.	78
Figura 33 Diagrama de proceso - Gestión de información según cargo.....	80
Figura 34 Diseño conceptual de quemador cilíndrico de gas..	82
Figura 35 Ensamble de quemador conceptual dentro del molde.....	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Plan de trabajo - práctica empresarial.	28
Tabla 2. Documento de control de solicitudes de mantenimiento.	33
Tabla 3 Registro de mantenimiento - Uno a muchos.	34
Tabla 4 Registro de mantenimiento - Uno a uno.	35
<i>Tabla 5 Matriz de criticidad – criterios..</i>	49
<i>Tabla 6 Matriz criticidad desactualizada – evaluada por frecuencias de falla.</i>	50
<i>Tabla 7 Matriz de criticidad actualizada. .</i>	51
Tabla 8 Frecuencias de mantenimiento sugeridas..	57
Tabla 9 Mantenimiento preventivo tornos CNC.	59
Tabla 10 Mantenimiento preventivo rectificadoras sin centros.	62
Tabla 11 Cronograma de planeación preventiva.	63
Tabla 12 Leyenda de consumos reactivos y factor de potencia equivalente.	70
Tabla 13 Análisis de consumo reactivo Oct-Nov.	71
Tabla 14 Análisis de consumo reactivo Dic-Feb.	72

RESUMEN

14/5/2020

www.upbbga.edu.co/biblioteca/formaton.php

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIAS CRÍTICAS EN INDUSTRIAS LAVCO S.A.S

AUTOR(ES): JOHAN JAVIER QUINTERO DUARTE

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): SANDRA PATRICIA CUERVO ANDRADE

RESUMEN

Se desarrolla un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria crítica de una empresa de manufactura metalmecánica, a través de una fase de identificación de equipos prioritarios según datos históricos de mantenimiento, que resulta en un análisis estadístico de las acciones correctivas y una modificación en la formulación de la matriz de criticidad. Posteriormente se realiza una identificación de subsistemas en los equipos de mayor criticidad, modos de falla, labores de mitigación y frecuencias de intervención, que se ven reflejadas en un cronograma dinámico de mantenimiento anual para los equipos estudiados. El cronograma en su fase de implementación futura requiere el ajuste de frecuencias o agrupación de labores para la optimización de tiempos de parada, lo cual hace uso de la facultad dinámica del cronograma para reprogramar las fechas de ejecución o periodicidad. Igualmente se recomienda ampliar gradualmente el plan de mantenimiento preventivo a todos los equipos de la empresa con el fin de mejorar la confiabilidad global de la planta.

PALABRAS CLAVE:

LAVCO, MANTENIMIENTO PREVENTIVO, RCM, CRITICIDAD

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESIGN OF A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR CRITICAL MACHINERY IN LAVCO INDUSTRIES S.A.S

AUTHOR(S): JOHAN JAVIER QUINTERO DUARTE

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: SANDRA PATRICIA CUERVO ANDRADE

ABSTRACT

A preventive maintenance plan is developed for critical machinery of a metalworking manufacturing company, through a phase of identification of priority equipment according to historical maintenance data, which results in a statistical analysis of corrective actions and a modification in the formulation of the criticality matrix. Subsequently, an identification of subsystems in the most critical equipment, failure modes, mitigation tasks and intervention frequencies is carried out, which are reflected in a dynamic annual maintenance schedule for the equipment studied. The schedule in its future implementation phase requires the adjustment of frequencies or grouping of tasks for the optimization of downtime, which makes use of the dynamic power of the schedule to reprogram the execution dates or periodicity. It is also recommended to gradually extend the preventive maintenance plan to all the company's equipment in order to improve the overall reliability of the plant.

KEYWORDS:

LAVCO, PREVENTIVE MAINTENANCE, RCM, CRITICITY,

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Ante el constante requerimientos de calidad y eficiencia en una empresa certificada con ISO 9001 es fundamental el reconocimiento del mantenimiento como un factor primordial en la rentabilidad de la empresa, por ello LAVCO S.A.S se ha propuesto optimizar sus labores de mantenimiento mediante un cambio de metodología, pasando de una respuesta reactiva a los errores a un modelo de prevención de los mismos, para disminuir el impacto en la producción, mediante un plan anual de mantenimiento preventivo para su maquinaria más crítica.

Para llevar a cabo una estructuración del plan se realiza la compilación, limpieza y análisis de información disponible sobre el trabajo de mantenimiento realizado en años anteriores, con el fin de tener un punto de partida sobre los equipos que deben considerarse más críticos. A partir de estos, se realiza un estudio de las frecuencias de falla, análisis de causa raíz y modos de falla, así como la forma óptima de mitigación.

Las labores de mitigación buscan disminuir al máximo las labores correctivas que son ejecutadas constantemente en la empresa, para implementar una estrategia que tenga como propósito la confiabilidad del sistema con acciones preventivas, adaptadas específicamente a cada máquina según su carga de trabajo real en la empresa, mediante un cronograma dinámico de mantenimiento que indica las labores para cada uno de los subsistemas estudiados en los equipos críticos.

Para una futura implementación efectiva de la estrategia de mantenimiento se designan las acciones correctivas necesarias para la recuperación y preparación de los equipos, la cual permita que las estrategias preventivas inicien con las máquinas en el mejor estado posible. Por último, el presente trabajo se limita a 2 tornos CNC, pero se recomienda a la empresa ampliar el plan de mantenimiento a la totalidad de las máquinas críticas, así como tomar en cuenta el banco de propuestas suministrado para la mejora de la eficiencia de los procesos industriales en diversas áreas de la empresa.

1 GENERALIDADES DE LAVCO S.A.S.

- Nombre de la empresa: INDUSTRIAS LAVCO S.A.S
- Actividad Económica / Productos y Servicios: Sector de autopartes y partes industriales en el mercado de reposición y de servicios.
- Número de empleados: 97
- Teléfono: 6381921
- Dirección: Km 4 autopista Floridablanca - Piedecuesta. Bucaramanga, Floridablanca, Santander
- Cargo en área de trabajo: Auxiliar de mantenimiento
- Nombre y Cargo del Supervisor Técnico: Lina Marcela Jaraba – Directora de logística industrial.

INDUSTRIAS LAVCO S.A.S es una empresa metalmecánica dedicada a los sectores de manufactura y servicios, referentes a la fundición de camisas centrifugadas, reparación de equipamiento industrial para compresores y la fabricación de piezas a medida gracias a su propia planta de fundición en las instalaciones. (LAVCO S.A.S, 2019).

Actualmente la empresa atiende el mercado nacional en la línea industrial como proveedor de las principales compañías de petróleo y gas en el país, además en el sector automotriz se cuenta con un 60% en volumen de exportación de camisas, principalmente hacia Estados Unidos, siendo el único fabricante nacional certificado de camisas centrifugadas en hierro gris según las normas API 618, ASTM A48 y NTC 1448. (PROCOLOMBIA, 2019).

1.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

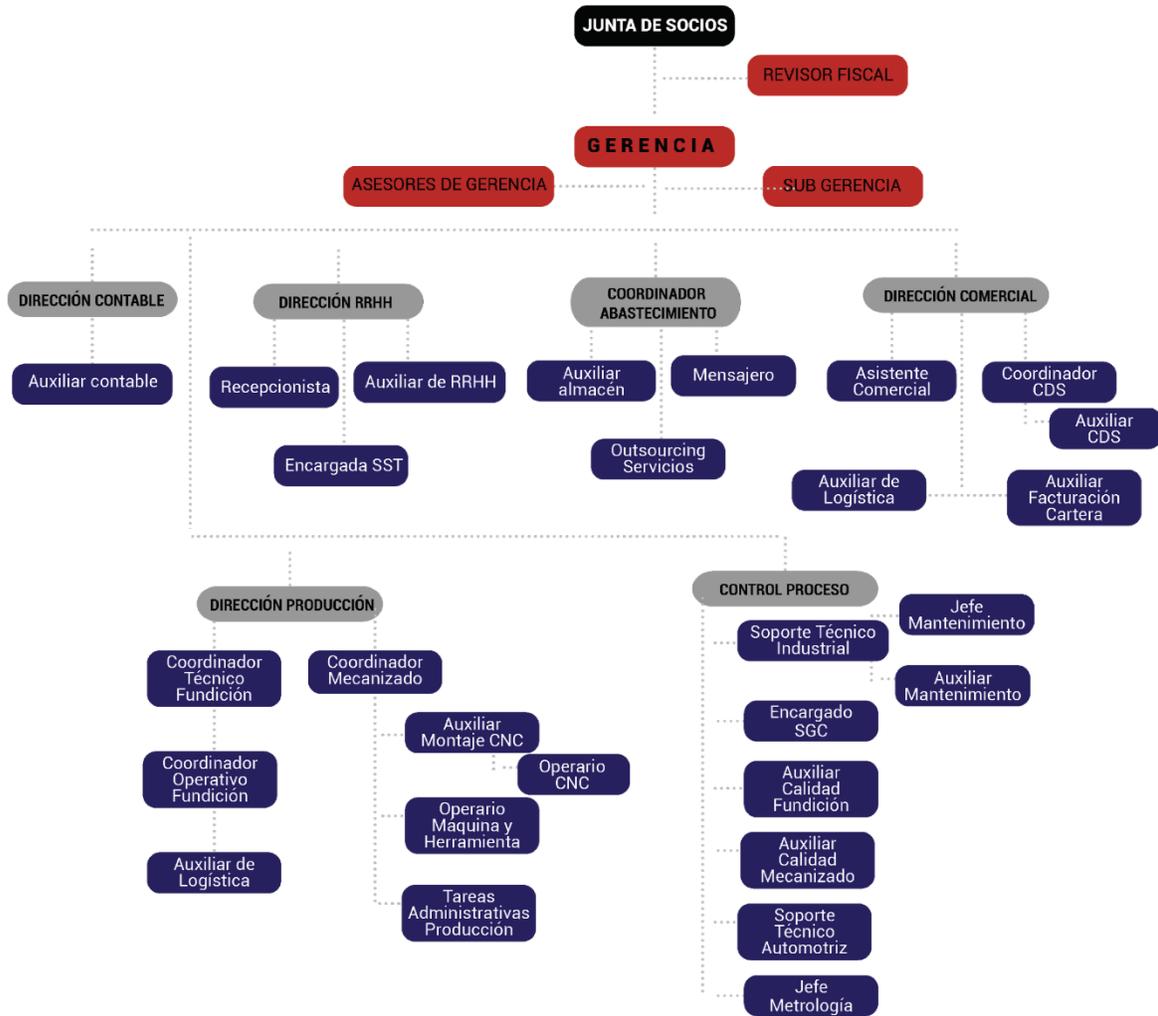


Figura 1 Organigrama. Fuente: Adaptado de documento interno LAVCO.

2 DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

La empresa metalmeccánica santandereana INDUSTRIAS LAVCO S.A.S. dedicada a la producción industrial y automotriz, con especial foco en camisas centrifugadas de hierro gris, cuenta con una planta de operaciones que comprende 195 equipos de los cuales 8 se consideran críticos para la producción, pero a los cuales no se les ha implementado una estrategia de mantenimiento preventivo efectiva.

La ausencia de un plan de mantenimiento preventivo y una total respuesta reactiva a los problemas de la maquinaria genera un bajo índice de confiabilidad de los equipos críticos, esto cobra gran importancia cuando en ciertas rondas de producción con fechas muy estrictas las máquinas se deben detener alterando totalmente el flujo operacional.

Un plan de contingencia ante la ausencia uno de los cuatro tornos CNC implica la reprogramación del producto para su procesamiento por tornos convencionales, poniendo en riesgo la precisión del proceso debido a la alta exigencia en tolerancias de algunos productos para exportación. Adicionalmente, cualquier tipo de reproceso implica una consecuencia monetaria al tener que ampliar los turnos trabajados por día en cada máquina o en el peor de los casos un incumplimiento de fecha de entrega con el cliente.

Para contener cualquier tipo de falla en INDUSTRIAS LAVCO S.A.S se cuenta con un equipo de 6 personas encargadas de las reparaciones en áreas de limpieza, soldadura, electricidad, hidráulica, neumática, al igual que el torneado y fresado de repuestos con fines específicos de mantenimiento interno.

Las labores de los encargados de mantenimiento se regulan mediante la generación de solicitudes directamente desde la dirección del departamento de mantenimiento (o soporte técnico industrial), sin embargo, la gran mayoría de estas se realizan al momento de una falla para determinar el personal que debe arreglar una falla, pero no se realizan de manera rutinaria para labores no reactivas debido a la falta de un plan claro de mantenimiento preventivo.

Por último, debido a la antigüedad de las instalaciones y algunas de los equipos surge la necesidad de implementar un plan de eficiencia energética que permita identificar donde se necesitan labores de diseño y fabricación de nueva maquinaria que permita la actualización de equipos rudimentarios, especialmente en lo referente a los procesos de fundición de acero nodular.

3 ALCANCE

Debido a la gran cantidad de equipos utilizados por la empresa el plan de mantenimiento preventivo se centrará en los más críticos, siendo evaluados por factores de seguridad, calidad, horas de operación, costo de mantenibilidad, impacto en la producción e intervalo de falla que ya han sido previamente establecidos por la empresa en una matriz de criticidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, los equipos de mayor criticidad en orden de importancia corresponden a 4 tornos CNC, 2 rectificadoras sin centros y 3 bruñidoras, a los cuales se les dividirán en diferentes subsistemas y/o actividades a realizar según un cronograma dinámico que se va adecuando según la última vez que se realizó una labor.

Se empezará con la realización de labores de mantenimiento pendientes para actualizar el estado de los equipos y debido al tiempo de la práctica se diseñará un plan de mantenimiento inicial para los dos tornos CNC de mayor productividad y una de las rectificadoras.

Según se avance en las labores y se conozca mejor la complejidad de las máquinas se realizará la planeación preventiva empezando por los tornos CNC y según los tiempos de avance de la práctica se procederá a realizar el mismo procedimiento con los otros equipos críticos.

El acompañamiento al plan de evaluación de eficiencia energética se centra en la cooperación a un estudio general del sistema eléctrico, contratado con una empresa externa y la asesoría ingenieril para la disminución de pérdidas en los sistemas de calentamiento o equipos de centrifugado usado por el departamento de fundición.

4 JUSTIFICACIÓN

Actualmente INDUSTRIAS LAVCO S.A.S no cuenta con una estrategia clara para el mantenimiento preventivo de la maquinaria y la gran mayoría de labores realizadas por el departamento de mantenimiento son una respuesta reactiva ante una parada no programada, que claramente afecta el flujo productivo de la empresa.

En el transcurso histórico de la empresa se han intentado ejecutar algunas estrategias de inspección, que con el transcurso del tiempo han dejado de funcionar debido a ser demasiado ambiciosas, principalmente por no contemplar una adaptación a los tiempos de producción y por ser poco claras, debido a que no se especifican acciones puntuales que deban asignarse al personal, por ello, cuando se hace una intervención se debe empezar por un diagnostico total de la máquina que aumenta de forma indeseable el tiempo de parada programada.

Debido a lo anterior es necesario establecer un plan de acciones preventivas puntuales que permita prever el personal, las herramientas e insumos necesarios para hacer las labores de la manera más rápida y efectiva posible. Al tiempo que se especifica una flexibilidad adecuada para que las labores se adapten a los periodos de alta producción.

Por último, con el plan de mantenimiento se busca que la totalidad de los sistemas o maquinas herramientas críticas cuenten con la atención necesaria interna o externa (contratista) desde un cronograma establecido y no se descuiden sistemas esenciales, como el de distribución eléctrica, que actualmente se encuentra en un estado crítico debido a la falta de mantenimiento y monitoreo de consumo.

Por último, la certificación ISO 9001 de la empresa exige un control de calidad de los procesos productivos, que implica de manera implícita un monitoreo de estado de la maquinaria para bridar las especificaciones técnicas requeridas en el producto final.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar un plan de mantenimiento para maquinaria crítica, mediante la identificación de modos de falla en subsistemas, logrando así establecer un cronograma anual de labores preventivas que tras su futura implementación permita aumentar la disponibilidad de los activos.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Compilar y analizar la información disponible de solicitudes de mantenimiento en años anteriores, para determinar las tendencias de frecuencia de reparación, tipo de mantenimiento y especialidad técnica.
- Contrastar los criterios de criticidad previamente establecidos por la empresa con los datos históricos de mantenimiento del año 2019, para determinar si es necesaria una reevaluación de los criterios o pesos relativos de la matriz.
- Determinar las labores preventivas correspondientes a los modos de falla de los subsistemas de las máquinas evaluadas y estableciendo sus frecuencias respectivas.
- Designar las acciones correctivas necesarias para la recuperación y preparación de las máquinas críticas, con el fin de tenerlas en estado óptimo para la futura implementación del plan de mantenimiento preventivo.

5.3 OTRAS ACTIVIDADES

- Coordinar los diagnósticos y reparaciones de sistemas de infraestructura por parte de proveedores de servicios externos.
- Identificar las maquinarias con muy baja eficiencia, trazabilidad y confiabilidad que puedan requerir un rediseño de estas o adecuaciones externas para mejorar su operación.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas y administrativas durante el ciclo de vida de un activo para retener o devolver el mismo a un estado en que pueda prestar la función deseada (European Committee for Standardization - CEN, 2010).

La norma DIN 31051 lo define como las medidas para retrasar la degradación del actual margen de desgaste, estas acciones pueden estar enmarcadas en un foco de conservación, inspección, reparación o mejora. De esto surge la clasificación del mantenimiento en preventivo, correctivo y predictivo. (DIN German Institute for Standardization, 2012).

6.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

En general el mantenimiento puede ser dividido en tres tipologías principales, primero, el mantenimiento correctivo que implica toda actividad que se requiere para corregir una falla que ha ocurrido o está ocurriendo y puede ser subclasificado como inmediato, en caso de que la falla impida totalmente la operación de la máquina o de tipo diferido, si la falla puede ser corregida posteriormente. (Straub, 2012).

La segunda tipología es el mantenimiento preventivo, que corresponde a toda actividad realizada en lapsos predeterminados y destinado a reducir la probabilidad de que la máquina en cuestión no cumpla con las condiciones mínimas de operación. Puede ser subdividido en mantenimiento predeterminado, el cual cumple con un cronograma fijo o mantenimiento basado en la condición, el cual se programa según en estado de indicadores de rendimiento preestablecidos (Straub, 2012).

La tercera clasificación corresponde al mantenimiento predictivo, el cual es una prolongación del mantenimiento basado en condiciones, ya que al monitorear estadísticamente el comportamiento repetitivo de los parámetros de alerta es posible realizar un pronóstico del nivel de degradación de la máquina para anticiparse aún más a la falla de manera más fiable. (European Committee for Standardization - CEN, 2010)

6.3 COSTO DE MANTENIMIENTO

Los costos del mantenimiento están clasificados como costos directos para toda aquella acción que implique la reparación en sí misma como repuestos, materiales, mano de obra y logística o consultoría externa, los cuales normalmente son monitoreados en el presupuesto de mantenibilidad de un activo (Ben-Daya, 2016). Sin embargo, los costos indirectos corresponden a toda aquella consecuencia derivada de la falla como una parada o disminución en la producción, la pérdida de un contrato o multas por incumplimiento de proceso, este factor puede ser monitoreado por el tiempo medio entre falla y el costo promedio de parada no programada, para verificar la efectividad de las labores de mantenimiento.

6.4 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Es toda acción técnico-administrativa de toma de decisiones en torno a los bienes, recursos, personal y tiempo relacionados con las labores de mantenimiento. La correcta gestión del mantenimiento va desde el nivel operacional, con una correcta ejecución del trabajo, pasando por el nivel táctico, donde se establecen los tiempos y requerimientos de la reparación, para por último llegar al nivel estratégico donde se decide, por ejemplo, si las labores serán realizadas por personal propio o debido a la falta de capacitación se realizará por una subcontratación externa.

La gestión del mantenimiento también abarca el análisis económico de depreciación, desgaste, pérdida de funcionalidades y tecnología obsoleta que puede derivar en la baja del equipo o la actualización de este para mejorar sus rendimientos (Ben-Daya, 2016).

Las etapas de la gestión inician en un primer nivel con la aplicación de una estrategia de mantenimiento preventivo, posteriormente van etapas de entrenamiento de personal y asistencia computacional para mejorar los tiempos en las acciones preventivas, después de esto es posible lograr implementar mantenimiento predictivo y una estrategia de RCM (Reliability Centred Maintenance). Por último, es posible empezar a usar filosofías de mantenimiento productivo total para llegar finalmente a un modelo de mejora continua (Crespo, 2007).

6.5 CONFIABILIDAD

Es la habilidad de un ítem de llevar a cabo una función determinada bajo condiciones de calidad y tiempo preestablecidos para el mismo, la confiabilidad puede ser cuantificada de manera probabilística, especialmente la confiabilidad intrínseca o inherente debido a tecnología diseño o manufactura de la máquina al monitorear chequeos de operación, pero también puede ser modificarse la confiabilidad extrínseca mediante estrategias de mantenimiento. (European Committee for Standardization - CEN, 2010)

6.6 PLAN DE MANTENIMIENTO

Es el grupo estructurado de tareas que incluye actividades, procedimientos, recursos y tiempo necesario para hacer el mantenimiento de uno o varios equipos. Se basa inicialmente en las recomendaciones generales del fabricante, posteriormente se evalúa la experiencia de trabajo con la máquina y se adaptan las recomendaciones a los requerimientos de operación, por último, pueden aplicarse técnicas de ingeniería de mantenimiento para optimizar la confiabilidad de los activos (Crespo, 2007).

6.7 MANTENIMIENTO DE OPORTUNIDAD

Es toda aquella acción preventiva que se realiza mientras la máquina está inactiva, generalmente debido a una falla mayor que le saque de la línea de producción. Generalmente se refiere a labores de otras partes que no tengan que ver con la razón principal del fallo. La mayor ventaja de este tipo de oportunidades es que las horas de mantenimiento no tendrán de manera individual un impacto adicional en la producción ya que el activo no se encuentra funcionando (Budai, 2008).

6.8 PARADA DE PLANTA

Es un evento propio del mantenimiento en cual toda la operación se detiene con el fin de realizar múltiples inspecciones y arreglos en todos los activos, los cuales no sería posibles de realizar sin una programación específica con mucho tiempo de antelación que permita evitar una afectación económica. En este tipo de eventos de mantenimiento son primordiales cuando los requerimientos de tiempo, dinero, seguridad o personal no pueden ser compaginados con los tiempos de producción y es necesario el cierre de toda la planta. (Duffuaa, 2004)

7 METODOLOGÍA

Para una correcta formulación de un plan de mantenimiento preventivo primero es necesario establecer el estado actual de los equipos para identificar posibles problemas repetitivos, modificaciones a los sistemas originales o reparaciones que han sido ejecutadas de manera irregular, así como un conocimiento sólido sobre la maquinaria en cuestión.

Para una correcta formulación de un plan de mantenimiento preventivo se divide el proceso en tres etapas que comprenden el reconocimiento de la situación de los equipos, la profundización sobre su funcionamiento y la generación de una estrategia que tenga presente la correcta sinergia entre el personal de mantenimiento y los operarios de producción.

7.1 FASE 1 - RECONOCIMIENTO DE ESTADO

Es necesario establecer el estado actual de los equipos para identificar posibles problemas repetitivos, modificaciones a los sistemas originales o reparaciones que han sido ejecutadas de manera irregular. Estos procesos se realizarán de la siguiente manera:

- Actualización de la base de datos de solicitudes de mantenimiento, registrando los soportes físicos faltantes y relacionándolos con las hojas de vida respectivas.
- Revisión del historial de solicitudes de mantenimiento del año 2019 y las hojas de vida de los equipos.
- Análisis y filtrado de frecuencia de reparación de equipos, según el tipo de mantenimiento y la especialidad técnica.
- Comparación de la frecuencia en los datos históricos con los índices preestablecidos en la matriz de criticidad donde, se tienen factores adicionales

como las horas de operación, calidad, rendimiento y factor de retraso, para verificar si los equipos prioritarios establecidos por la empresa concuerdan con los de mayor criticidad.

7.2 FASE 2 – IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUBSISTEMAS

Hasta la fecha las solicitudes de mantenimiento se clasifican de manera global según su carácter eléctrico, hidráulico o mecánico, pero esta tipología se vuelve obsoleta para la formulación de acciones preventivas debido a que no es concreta la actividad a realizar y en muchos casos el carácter de una reparación resulta en una combinación de más de una especialidad. Por lo tanto, es necesario:

- Revisión de los manuales de operación y partes de equipos CNC para comprender mejor su funcionamiento.
- Subdivisión de equipos en subsistemas y subcomponentes según tipo (mecánico, eléctrico, hidráulico, neumático) al igual que su función global.

7.3 FASE 3 - GENERACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Priorización de actividades requeridas para cada subsistema según el tipo de especialista requerido.
- Determinar el modo de falla y las frecuencias para las acciones preventivas de cada subsistema, teniendo en cuenta las frecuencias obtenidas en el histórico de 2019.
- Planeación de las acciones en un cronograma que minimice la cantidad de paradas y los tiempos de estas, combinando varias revisiones menores de diferentes especialidades en una misma parada.

- Generación de un documento de Excel programado para actualizar de manera dinámica las fechas del cronograma según el cumplimiento de estas en un tiempo anterior o posterior al previsto. Adicionalmente se muestra la cantidad de días en que se está desfasado según la fecha esperada para obtener un indicador de cumplimiento.

8 ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

PLAN DE TRABAJO
Diseño de cronograma con estrategia de mantenimiento preventivo para equipos críticos.
Control de disponibilidad de CNC y cálculo de indicadores de mantenimiento (Disponibilidad, Tiempo de parada no programada, Costo de parada no programada).
Generación de solicitudes y compras de mantenimiento.
Seguimiento al presupuesto de mantenimiento.
Coordinar los diagnósticos y reparaciones de sistemas de infraestructura por parte de proveedores de servicios externos.
Identificar las maquinarias con muy baja eficiencia, trazabilidad y confiabilidad que puedan requerir un rediseño de estas o adecuaciones externas para mejorar su operación.

Tabla 1 Plan de trabajo - práctica empresarial. Fuente: Autoría propia.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 FASE 1 - RECONOCIMIENTO DE ESTADO

En esta fase inicial se realiza un diagnóstico de la información disponible, de los últimos años, en forma de solicitudes de mantenimiento (ver Figura 2), estas son conservadas como archivo físico en bolsas agrupadas según la numeración de los talonarios de generación, además se registran de manera digital en el archivo de Excel “CONTROL SOLICITUDES DE MANTENIMIENTO” del año correspondiente ingresando la totalidad de los datos escritos.

LAVCO		SOLICITUD DE MANTENIMIENTO		OMA-PCP-01		Nº 38668		
FECHA		HORA		MAQUINA		NOMBRE DE QUIEN RECIBE		
DIA	MES	AÑO						
19	02	2020	8:25 am	M054	Johan Quinto	Ludwing Garbaca		
DESCRIPCION GENERAL DE LA SOLICITUD <i>Revisión de motor desgrasante del refrigerante</i>								
ACTIVIDADES DESARROLLADAS						FECHA	TIEMPO	RESPONSABLE
Mantenimiento a motor reductor.								
- Se aplica grasa a engranajes del reductor.								Ludwing Garbaca
- Se cambia interruptor partido de encendido.							8h.	
- Se aplica barniz a estator del motor.								
- Se cortan cables de acometida principal y coraza estacion muy largos.								
FECHA ENTREGA		HORA DE ENTREGA		Nº DE LA SOLICITUD DE MATERIALES		TIEMPO TOTAL	RECIBE A CONFORMIDAD	
						8h	Johan Q.	
CLASIFICACION DE LA ACTIVIDAD				ACTIVIDAD A DESARROLLAR (marque con una x al generar la solicitud)				
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ELECTRICA	MECANICA	HIDRAULICA	NEUMATICA	MTO PREVENTIVO	MTO CORRECTIVO	FABRICACION DE HTA	PROYECTO	
							INFRAESTRUCTURA	
							OTRAS LINEA	

Figura 2 Formato de solicitud de mantenimiento. Fuente: Autoría propia.

Al inspeccionar minuciosamente, se encuentra que el archivo físico está incompleto, es decir, que en cada bolsa por talonario no se encuentran la totalidad de los registros correspondientes, esto puede deberse a la pérdida de los mismos en los procesos de generación, ejecución o ingreso de la respectiva solicitud.

Adicionalmente, los registros digitales también se encuentran incompletos, dando como resultado entradas que no se encuentran en físico ni en digital o que sólo se encuentran en uno de los dos métodos de registro, por lo cual, surge la necesidad de realizar una inspección del archivo físico para revisar que se encuentre la totalidad de las solicitudes con su respectiva copia y en caso de inexistencia, dejar por escrito los correspondientes números de secuencia para darlos de baja.

En la Figura 3, se observa la hoja de control adicionada al paquete físico, donde se especifica que corresponde a solicitudes de mantenimiento en un rango específico de secuencia de talonarios y se especifican los números de registro faltantes. De esta forma, en caso de encontrar un registro perdido se puede resaltar como encontrado y así sea tenido en cuenta al momento de hacer auditorías.

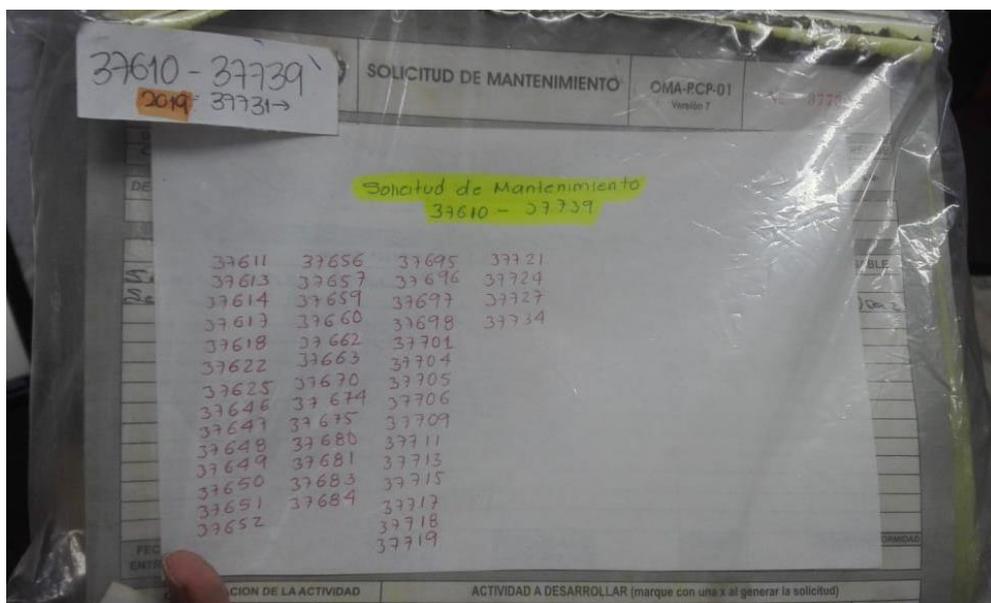


Figura 3 Hoja de control para archivo física. Fuente: Autoría propia.

Tras una primera inspección de registros faltantes, se inicia la búsqueda de los mismos a lo largo del flujo de mantenimiento, evidenciando que muchas de ellas estaban retenidas por el personal técnico de mantenimiento, porque aún estaban en proceso o porque no se entregaron a la dirección del área.

Inicialmente se encontraron 94 solicitudes extraviadas (ver Figura 4) y en una segunda revisión 107 más, para un total de 201 registros recuperados, algunos con fechas correspondientes a abril de año anterior.



Figura 4 Solicitudes de mantenimiento extraviadas. . Fuente: Autoría propia.

Se evidencia que la principal razón de este tipo de fallas, corresponde a la ausencia de un registro del estado de las solicitudes, en el cual se establezca si está programada, en proceso, ejecutada o anulada y así poder dar el seguimiento correspondiente.

9.1.1 Actualización de base de datos de solicitudes de mantenimiento

Debido a falta de información digitalizada, a causa de las solicitudes extraviadas, se procede con una actualización de la base de datos hasta el 7 de enero de 2020, algunas de las solicitudes se encuentran en la dirección de mantenimiento pero que no han sido ingresadas. A partir de esta fecha todas las solicitudes en la dirección de mantenimiento, hasta el 16 de marzo del 2020, se registran con normalidad en el archivo digital.

Para el registro y archivo de los reportes físicos, se establece como procedimiento:

1. Ordenar las solicitudes físicas a registrar según la fecha de generación
2. Verificar la existencia de la solicitud en la base de datos
3. Si no existe el registro, ingresarlo como una nueva entrada organizada por la fecha de generación. En caso de encontrarse registrada, verificar que todos los datos correspondan con el ingreso.
4. Buscar si en el archivo existe una bolsa con la numeración de talonario correspondiente, si no existe es necesario crearla.
5. Ingresar las solicitudes en la bolsa y verificar si la numeración coincide con la hoja de control de la bolsa respectiva, en caso de coincidir resaltar el número de solicitud para identificar que fue encontrado

Después del proceso de actualización es necesario resaltar que los registros digitales de mantenimiento se deben ordenar, según la fecha de generación de las solicitudes y no la fecha de finalización o retorno a la dirección de mantenimiento. A pesar que las dos fechas son registradas en diferentes columnas al momento del ingreso, se prioriza la correspondiente a la generación.

Esto se acordó en compañía de la asesora de auditorías para certificación ISO 9001, debido a que la forma más eficiente de pedir información, entre departamentos y recordar los hechos por partes terceras, es por la fecha del error y no la del momento en que se arregla el problema, ya que este proceso tiene ventanas temporales variables.

Además, se acuerda que las copias de solicitud (color amarillo) carecen de importancia en el archivo físico, ya que sólo cumplen la función de seguimiento mientras la solicitud respectiva está en proceso, por lo cual desde el año 2020 se dejarán de llevar.

Todos los ingresos de 2019 se actualizan y ordenan cronológicamente en una sola hoja del documento de Excel "CONTROL SOLICITUDES DE MANTENIMIENTO", un segmento de estos registros se observa en la Tabla 2.

NO. SOL	FECHA	HORA	MAQUINA	NOMBRE DE QUIEN GENERA	NOMBRE DE QUIEN RECIBE	DESCRIPCION GENERAL DE LA SOLICITUD
37731	2/01/2019	12:30:00 p. m.	M059	JOHAN FABIAN BELTRAN	ALMACEN	EXTRACCION DE TORNILLOS PORTA HERRAMIENTA DE TRONZADO
37733	3/01/2019	11:00:00 a. m.	F003	ELIECER RODRIGUEZ	ELIECER RODRIGUEZ	FABRICACION DE CENTRIFUGADORA PARA TROQUELES CON CHUMACERAS DE 2 1/2 REF SN 515
37737	8/01/2019	8:30:00 a. m.	M054	JHON VERA	JUAN JOSE DIAZ	CONTINUIDAD MANTENIMIENTO BANDA TRANSPORTADORA M054
37738	8/01/2019	2:30:00 p. m.	MX10	ELIECER RODRIGUEZ	ELIECER RODRIGUEZ	FABRICACION DE EJE DE ARRASTRE PARA BARRA EXAGONAL DE AVANCE LONGITUDINAL
37736	8/01/2019	8:00:00 a. m.	M043	ALVARO MARTINEZ	LIBARDO NAVAS	AUTOMATICO Y AVANCE RAPIDO NO FUNCIONAN
37735	8/01/2019	4:42:00 a. m.	M025	JOSE PABLO BASTO		CAMBIO DE CORREAS
37741	9/01/2019	1:30:00 p. m.	MESA HIDRAULICA	PEDRO ALBARACIN	JUAN JOSE DIAZ	REVISION DEL HIDRAULICO DE SUBIR TROQUELEROS
37740	9/01/2019	10:00:00 a. m.	M036	ANDERSON BANDERAS	JUAN JOSE DIAZ	DAÑO DE HERRAMIENTA DE CORTE
37739	9/01/2019	7:30:00 a. m.	T007 COMPRESOR	JUAN JOSE DIAZ	LUDWING GAMBOA	REVISION PARTE ELECTRICA Y LIMPIEZA
37755	10/01/2019	9:00:00 a. m.	PUNTO GAS	JOSE MENDEZ	JUAN JOSE DIAZ	FAVOR ARREGLAR MANGUERA PUNTO FIJO DE GAS DE LA COQUILLERA
37743	10/01/2019	6:00:00 a. m.	LABORATORIO METROLOGIA	ELIECER RODRIGUEZ	ELIECER RODRIGUEZ	FABRICAR PIEZA PARA SOPORTE DEL DUROMETRO
37747	11/01/2019	3:30:00 p. m.	M018	JHON ALEXANDER URIBE	LIBARDO NAVAS - GONZALO ORTIZ	CAMBIO DE PIEDRA ROSADA RECTIFICADORA
37801	15/01/2019	8:45:00 a. m.	F067 CENTRIFUGA	JOSE MENDEZ	JUAN JOSE DIAZ - LUDWING GAMBOA	MONTAJE DE CARRETAS Y COQUILLA
37802	15/01/2019	6:00:00 a. m.	T005 COMPRESOR	JUAN JOSE DIAZ	JUAN JOSE DIAZ	REVISION DE COMPRESOR DE LIMPIEZA FUNDICION
37562	16/01/2019	8:00:00 a. m.	MANTENIMIENTO	JUAN FUENTES	GONZALO ORTIZ	ARREGLO DE PALA PARA LA VIRUTA
+	16/01/2019	12:30:00 p. m.	MOLDE DE FUNDICION	EDUARDO LIZARAZO	JUAN JOSE DIAZ	AJUSTAR SOPORTE DE GUIA DE CERRAR Y MANTENIMIENTO
37804	16/01/2019	7:00:00 a. m.	M037	WILSON ZAPATA		RECTIFICADO DE PUNTO ROTATIVO
37811	17/01/2019	1:00:00 p. m.	M054	ANGELICA LAITON	GONZALO ORTIZ	CORTAR TORNILLO SEGÚN MUESTRA A PINZAS CONO N 1
37810	17/01/2019	8:25:00 a. m.	LAVAMANOS EXTERIOR FUNDICION	MARTHA PINTO	JUAN JOSE DIAZ	REVISAR LLAVE QUE ESTA CON FUGA LAVAMANOS DE AGUA ACUEDUCTO FUNDICION

Tabla 2. Documento de control de solicitudes de mantenimiento. Fuente: Autoría propia.

9.1.2 Revisión de historial de solicitudes de mantenimiento del 2019

Al revisar el historial de mantenimiento e intentar ordenar los ingresos, según números de solicitud, fechas de generación o de entrega, se evidencia que la forma en cómo se ingresan los datos no permiten hacer ninguna operación de clasificación contundente y es necesario una reestructuración de los mismos para poder tratarlos.

En la Tabla 3, se muestra un ejemplo de registro en el cual al combinar una celda se pretende hacer una relación “uno a muchos”, sin embargo, sólo la celda superior de las 3 combinadas es la que conserva los caracteres de texto, haciendo que, ante un análisis o proceso de filtrado y exportación, las otras celdas queden sin información relacionada.

T006	REPARACION DE EMPAQUETADURA Y ESPARRAGO PARTIDO, FUGA DE AIRE	ARREGLO DE COMPRESOR T006 ARMADO DE CULATA Y PRUEBAS, SE ENCONTRARON ROSCAS AVERIADAS, SE BAJA PARA PASAR A OTRA MEDIDA, PERFORADO Y ROSCADO A 8MM, MONTAJE Y PRUEBAS	10/01/2020
		SE BAJA CULATA Y EMPAQUE, SE QUITARON ESPARRAGOS, SUS ROSCAS ESTABAN DEFECTUOSAS, SE ENVIARÁN EMPAQUES A FABRICAR	11/01/2020
		SE COLABORA A LIBARDO A ENSAMBLAR Y SE PUSO A FUNCIONAR	12/01/2020

Tabla 3 Registro de mantenimiento - Uno a muchos. Fuente: Autoría propia.

La forma más adecuada de ingreso, para poder realizar un proceso de filtrado de datos en Excel, es haciendo una relación “uno a uno” entre los datos, como se muestra en la Tabla 4, sin embargo, esta solución promueve las duplicidades de datos, de forma innecesaria, debido a la obligación de registrar varias veces un dato, por ejemplo, el código de máquina o la descripción general para cada una de las actividades específicas de cada solicitud.

Esto limita la eficiencia del documento, ya que, al momento de ser escalado a una gran cantidad de información, se ocuparía una cantidad innecesaria de espacio y aumentaría la probabilidad de errores entre casillas. (Microsoft, s.f.)

T006	REPARACION DE EMPAQUETADURA Y ESPARRAGO PARTIDO, FUGA DE AIRE	ARREGLO DE COMPRESOR T006 ARMADO DE CULATA Y PRUEBAS, SE ENCONTRARON ROSCAS AVERIADAS, SE BAJA PARA PASAR A OTRA MEDIDA, PERFORADO Y ROSCADO A 8MM, MONTAJE Y PRUEBAS	10/01/2020
T006	REPARACION DE EMPAQUETADURA Y ESPARRAGO PARTIDO, FUGA DE AIRE	SE BAJA CULATA Y EMPAQUE, SE QUITARON ESPARRAGOS, SUS ROSCAS ESTABAN DEFECTUOSAS, SE ENVIARÁN EMPAQUES A FABRICAR	11/01/2020
T006	REPARACION DE EMPAQUETADURA Y ESPARRAGO PARTIDO, FUGA DE AIRE	SE COLABORA A LIBARDO A ENSAMBLAR Y SE PUSO A FUNCIONAR	12/01/2020

Tabla 4 Registro de mantenimiento - Uno a uno. Fuente: Autoría propia.

La explicación de estos inconvenientes se debe a que Excel es un software optimizado para el cálculo y el análisis de datos, principalmente de carácter numérico, pero no para funcionar como un sistema de administración de base de datos, para ello está dispuesta la herramienta profesional Access. (Microsoft, s.f.)

Microsoft Access es un gestor de bases de datos relacionales que permite certificar la integridad de los datos, debido a que brinda la posibilidad de vincular un campo de ingreso con unas opciones predefinidas, éstas a su vez pueden desplegar una nueva sección de opciones preestablecidas aún más específicas.

Este proceso permite la eliminación de errores de digitación o categorización por fuera de los rangos deseados y elimina tanto la posibilidad de registros “huérfanos”, es decir con información faltante en alguno de sus ítems, como la duplicación constante de información, ya que la misma se encuentra en tablas diferentes que sólo mantienen una relación. (Microsoft, s.f.)

En términos prácticos, esto significa que habría una primera tabla que contenga el número de solicitud, su descripción general y quien la genera, pero las actividades particulares se registrarían, al interior del sistema, en una segunda tabla con un vínculo de relación hacia la primera.

Sin embargo, la creación de una base de datos en Access, es un proceso largo que requiere la organización de información, determinación de relaciones, refinamiento de diseño, normalización y puesta en pruebas, lo cual requiere un amplio tiempo para la

implementación efectiva de la misma. Por ello se modifica el documento de Excel, que contiene toda la información del año 2020, con relaciones “uno a uno”, como se observa en la tabla 4, este archivo permite el filtrado de datos y puede ser manejado de manera temporal mientras se constituye una base de datos en Access, por personal interno o externo y posteriormente, esa información previamente ingresada con relaciones “uno a uno” al documento de Excel puede ser migrada directamente a la nueva base de datos Access sin perder características de datos del histórico 2020.

En cuanto al contenido de la base de datos, es necesario estandarizar los ingresos realizados al sistema, con el fin de recolectar información limpia que permita hacer análisis de manera automática. Para ello, toda solicitud siempre debe incluir el código de máquina al ser registrada y no hacerlo por nombres particulares, por ello se establece la necesidad de crear categorías, fijas, claras y estructuradas para la generación de solicitudes.

Por otra parte, se requiere mayor claridad en la clasificación de la especialización técnica de cada solicitud, de forma que sea claro si el arreglo es neumático, hidráulico, eléctrico o mecánico. Óptimamente no se deberían combinar varias especialidades en una sola solicitud para evitar el conflicto de los datos, pero esto no es posible debido a la complejidad de los sistemas trabajados, por ello se propone que al establecerse la base de datos final esta clasificación sea por cada acción y no por toda la solicitud.

Al momento de digitar, es necesario establecer las categorías por un menú de selección, en el cual se evite el ingreso de espacios indeseados, los cuales son difíciles de identificar e impiden el posterior análisis de los datos de forma segmentada.

En la Figura 5, se observan las categorías de primer nivel propuestas para los ítems de área-máquina, estado de la solicitud, especialidad técnica, tipo de actividad y tipo de hora laboral. A su vez en la Figura 6 y Figura 7, se observan la segmentación de segundo nivel para las diferentes áreas de máquina con sus respectivos códigos.

ÁREA	ESTADO	ESPECIALIDAD	TIPO DE ACTIVIDAD	TIPO DE HORA LABORAL
Mecanizado - Corte	Abierta	Electrica	Mto preventivo	Diurna
Mecanizado - Interior	En proceso	Mecánica	Mto correctivo	Nocturna
Mecanizado - Exterior	Cerrada	Hidráulica	Fabricación de hta	Diurna festiva
Mecanizado - CNC		Neumática	Proyecto	Nocturna festiva
Mecanizado - Renault			Infraestructura	
Mecanizado - Bruñido			Otra linea	
Mecanizado - Rectificado				
Mecanizado - Otros				
Industrial				
Mantenimiento				
Fundición - Centrifugadoras				
Fundición - Centrifugas Industriales				
Fundición - Hornos				
Fundición - Otros				
Lab. Fundición				
Toda la empresa				
Administrativo				
Hardware				

Figura 5 Categorización propuesta de primer nivel

CORTE	INTERIOR	EXTERIOR	CNC	RENAULT	BRUÑIDO	RECTIFICADO	MC. OTROS	INDUSTRIAL	MANTENIMIENTO
M036	M024	M029	M054	M007	M001	M017	M012	M002	X001
M041	M025	M030	M059	M019	M003	M018	M046	M011	X002
M042	M037	M031	M058	M021	M004		M060	M050	X003
M005	M038	M032	M055				M061	M043	X004
	M009	M033					M065	M057	X005
	M010	M039					M066	M022	X006
	M028	M026					M067		X007
							M068		X008
							M069		X009
							M023		X010
							M045		X011
							M052		M047
							M053		X012
							M063		M016
							M056		M074
							M071		M077
							M075		M082
							M076		
							M079		

Figura 6 Categorización propuesta de segundo nivel - Área de máquina 1

CENTRIFUGADORAS	CENTRI. INDUSTRIAL	HORNOS	FUND. OTROS	LAB. FUNDICIÓN	TODA EMP.	ADMINISTRATIVO	HARDWARE
Bloque 1	F009	F020	F078	L001	T005	A001	H-001
Bloque 2	F010	F021	F024	L002	T006	A002	H-002
Bloque 3	F011	F071	F038	L003	T007	A004	H-003
Bloque 4	F066	F085	F035	L004	T016	A008	H-004
Bloque 5	F067	F086	F046	L005	T017	A009	H-005
Bloque 6	F045	F087	F037	L006	T002	A010	H-006
		F077	F032	L007	T018	A011	H-007
		F028	F034	L008	T009	A012	H-008
		F072	F026	L009	T021		H-009
		F065	F033	L010	T019		H-010
			F059	L012	T011		H-011
			F064	F013	T008		H-012
			F030	F014	T001		H-013
			F089	L016			H-014
			F091	L017			H-015
			F090	L019			H-016
			F092				H-017
			F093				H-018
			F088				H-019
							H-020
							H-021
							H-022
							H-023
							H-024
							H-025
							H-026
							H-027
							H-028
							H-029

Figura 7 Categorización propuesta de segundo nivel - Área de máquina 2

Por último, es primordial hacer un plano con las ubicaciones y códigos de máquina actualizados, el cuál esté en las oficinas de cada líder de área que pueda llegar a generar una solicitud, con la finalidad de que las personas realmente sepan los códigos, ya que, por ejemplo, los hornos cubilotes a pesar de tener códigos establecidos, no existe una claridad sobre la forma correcta para referenciarse a los mismos, usando palabras ambiguas y de interpretación relativa que pueden dañar el propósito de seguimiento de información.

Para concluir, se debe tener en cuenta que un sistema de gestión de datos de mantenimiento sólo será útil si la información es estructurada, uniforme, accesible, trazable y está libre de sesgos por interpretación o procesamiento de ingreso. Para ello se propone un modelo relacional, ver Figura 8, que puede servir de base para el correcto desarrollo posterior de esa base de datos, en esta se divide la información en seis tablas diferentes que se interrelacionan entre sí, permitiendo el manejo conjunto en la misma base de datos por parte de varios usuarios, ver sección 9.4.4.

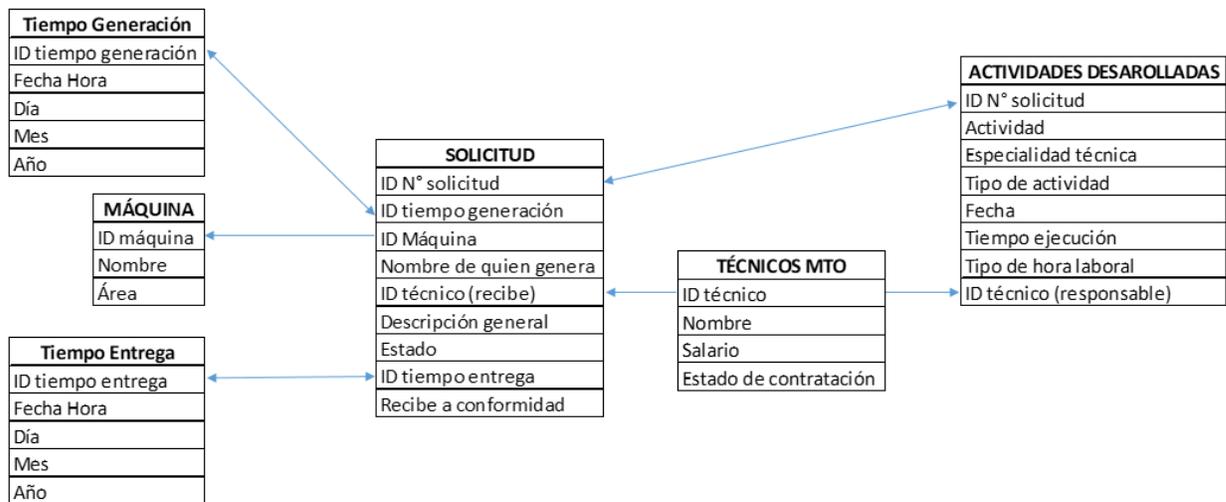


Figura 8 Diagrama relacional propuesto

En caso de querer ir más allá de un sistema de base de datos propio y personalizado, se puede optar por un CMMS comercial (Computerized Maintenance Management System), al indagar se encuentra que en el pasado Industrias LAVCO adquirió un sistema de este tipo, pero debido a fallas en su implementación se dejó de usar, por lo cual se desechó. Parte de esta falla puede deberse a que, al no tener una estrategia preventiva o de monitoreo establecida previamente, el uso de software carece de utilidad.

Por lo anterior debe tenerse en cuenta que ante de adquirir un CMMS deberían estar implementadas las rutinas estructuradas de un plan preventivo, adicionalmente, se recomienda una implementación digital previa por medio de base de datos local y, por último, se recomienda que la selección del software contemple la migración de datos desde la base de datos local al software comercial.

9.1.2.1 Filtrado y análisis de frecuencia de reparación en equipos

Para poder realizar un análisis de la información se categoriza los datos disponibles del 2019 bajo los criterios de área, máquina, especialidad y tipo de mantenimiento, ignorando tanto los números de solicitud, como los ítems en la descripción, ya que sólo se busca un espectro de frecuencias de reparación y su clasificación, no las actividades específicas realizadas (las cuales suman un total de 1242 a largo del año).

Se tomaron en cuenta sólo los datos ingresados con código de máquina y no por nombres particulares, los registros con casillas vacías tras una separación de celdas son eliminados, se corrigen los errores de espaciado y digitación en las categorías “especialidad” y “tipo”.

Para los registros con especialidad “Mantenimiento correctivo – Mantenimiento preventivo” se asume que prevalece el objetivo correctivo para la generación de solicitud, para la combinación “Mantenimiento preventivo – Fabricación de herramienta” se da prioridad al carácter preventivo.

Ante dos tipos de especialidad como “mecánico – eléctrico”, “mecánico – hidráulico” o “mecánica – neumática” se da prioridad a las de carácter no mecánico, debido a que esta categoría por si sola ya cuenta con una alta representación global en el grupo de datos.

A continuación, desde la Figura 9 hasta la Figura 22, se pueden observar los diagramas de datos obtenidos tras la depuración, que corresponden a 410 ingresos de 637 iniciales, lo cual representa al 64.3% de los datos en bruto.

MECANIZADO – CNC / BRUÑIDO / RECTIFICADO

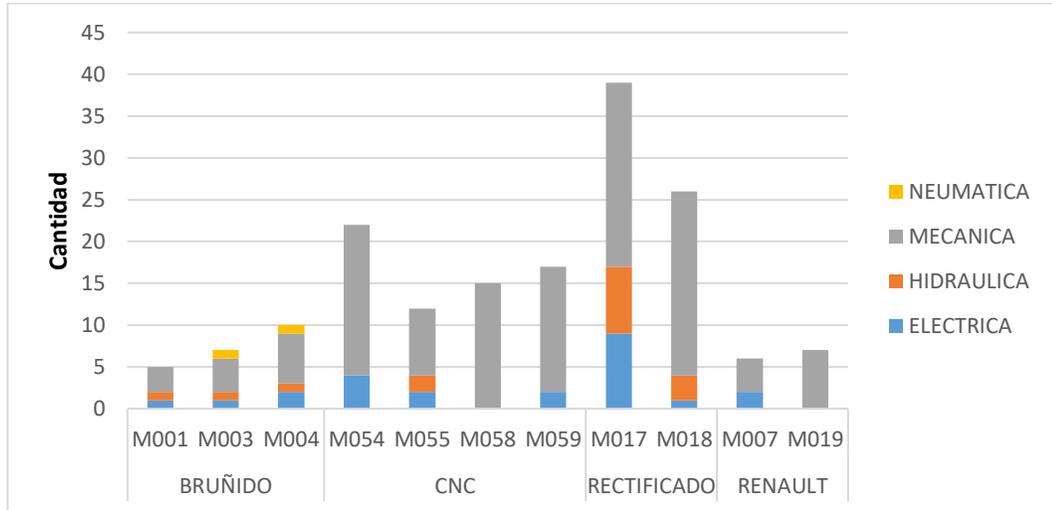


Figura 9 Solicitudes área mecanizado - por especialidad. Fuente: Autoría propia.

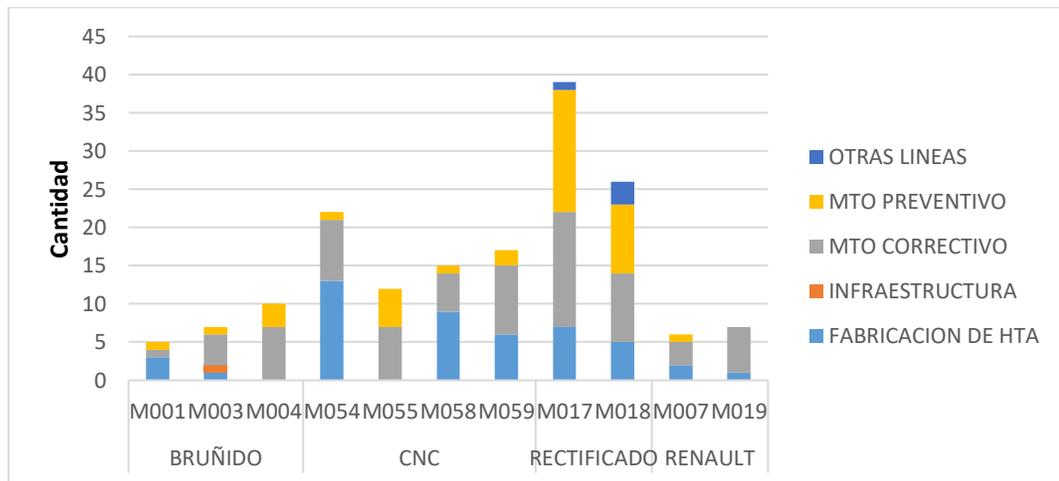


Figura 10 Solicitudes área mecanizado - por tipo. Fuente: Autoría propia.

MECANIZADO – TORNOS CONVENCIONALES

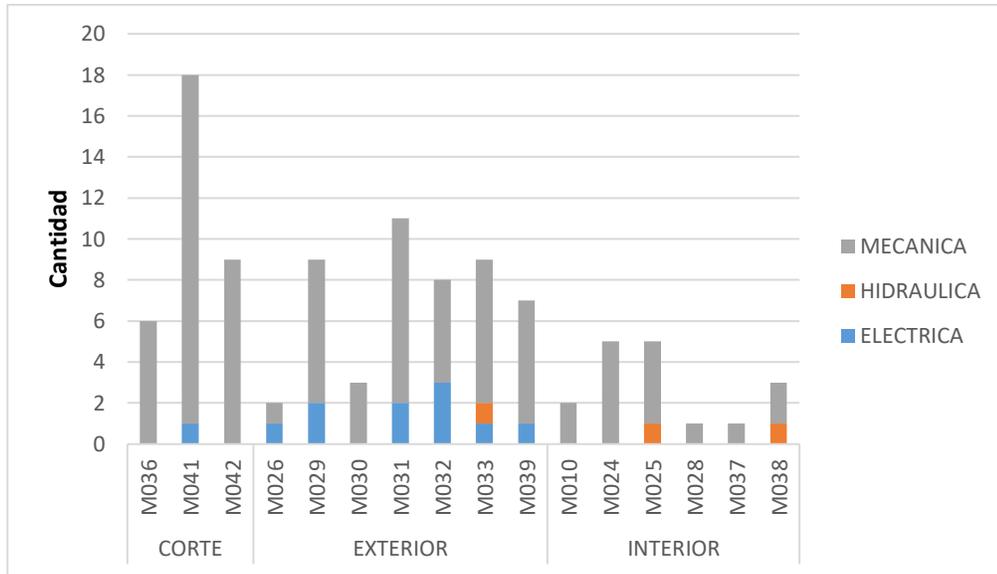


Figura 11 Solicitudes área mecanizado convencional - por especialidad. Fuente: Autoría propia.

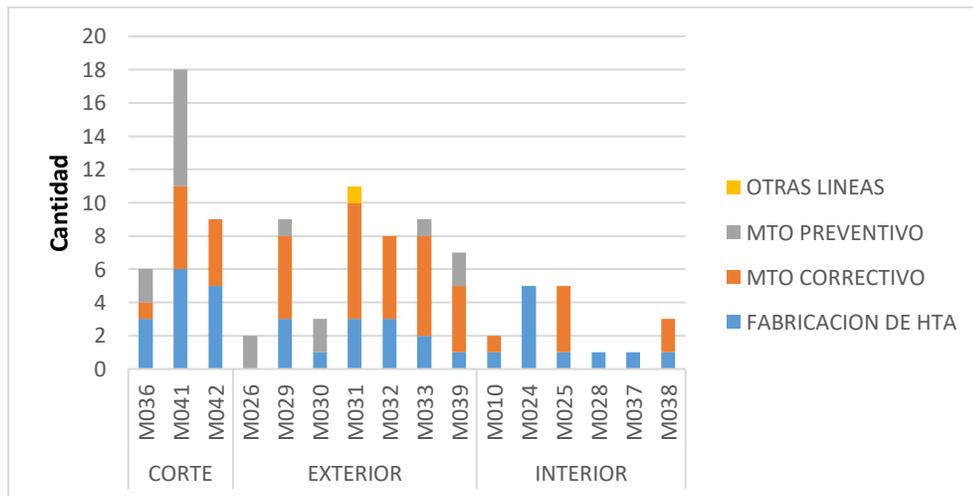


Figura 12 Solicitudes mecanizado convencional - por tipo. Fuente: Autoría propia.

MANTENIMIENTO E INDUSTRIAL

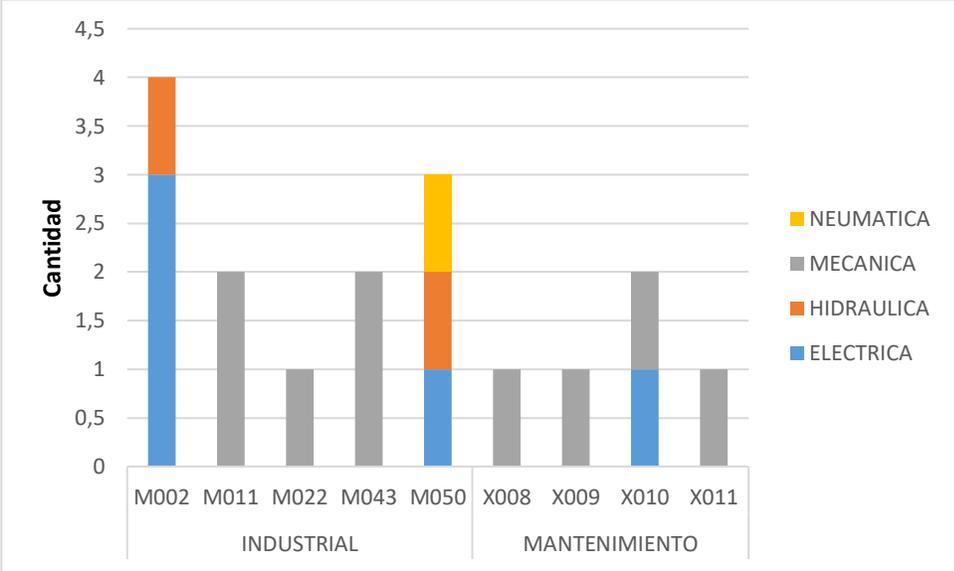


Figura 13 Solicitudes área industrial y mantenimiento - por especialidad. Fuente: Autoría propia.

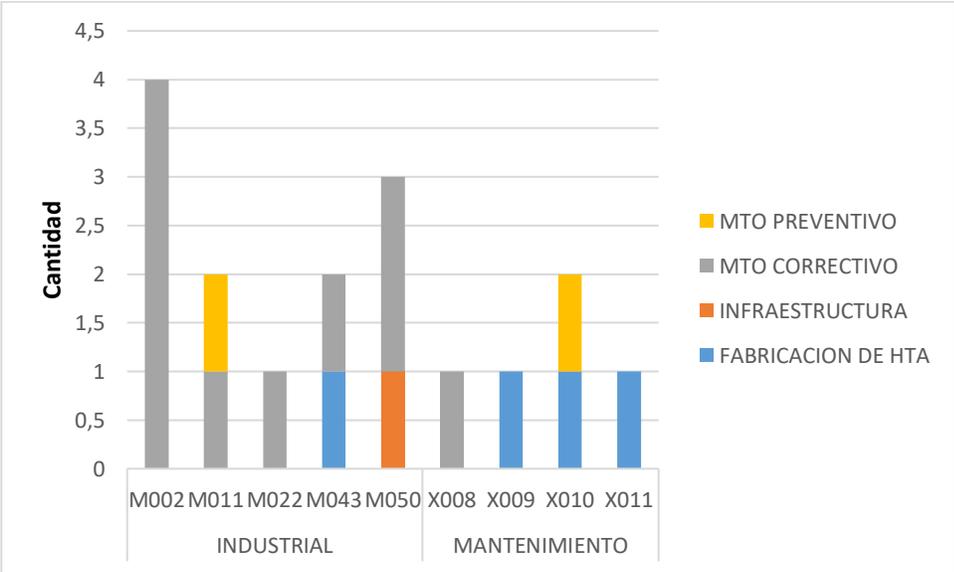


Figura 14 Solicitudes área industrial y mantenimiento - por tipo. Fuente: Autoría propia.

FUNDICIÓN

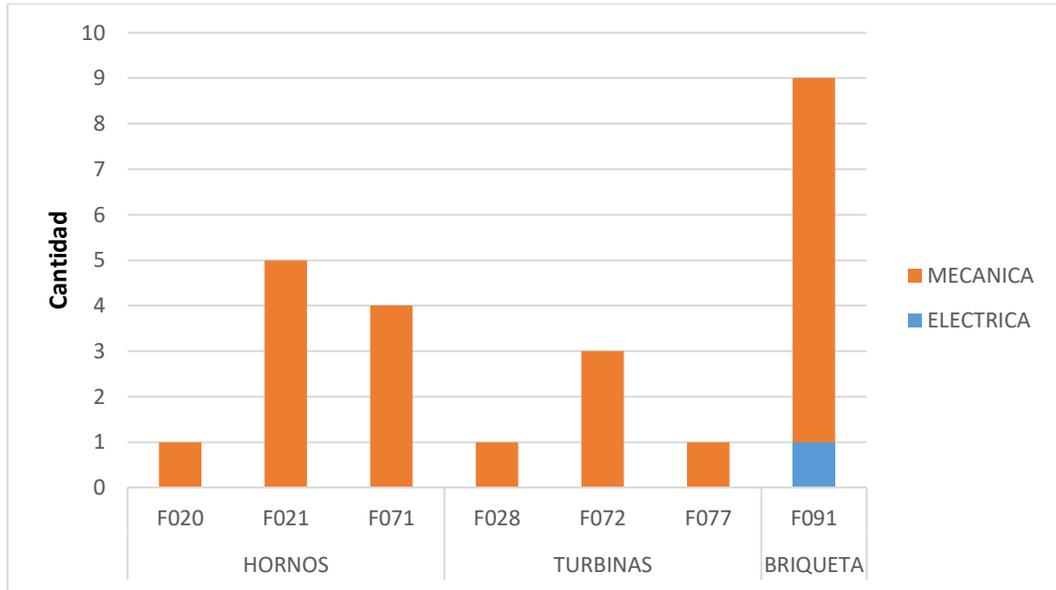


Figura 15 Solicitudes área fundición (hornos, turbinas, briquetadora) - por especialidad.

Fuente: Autoría propia.

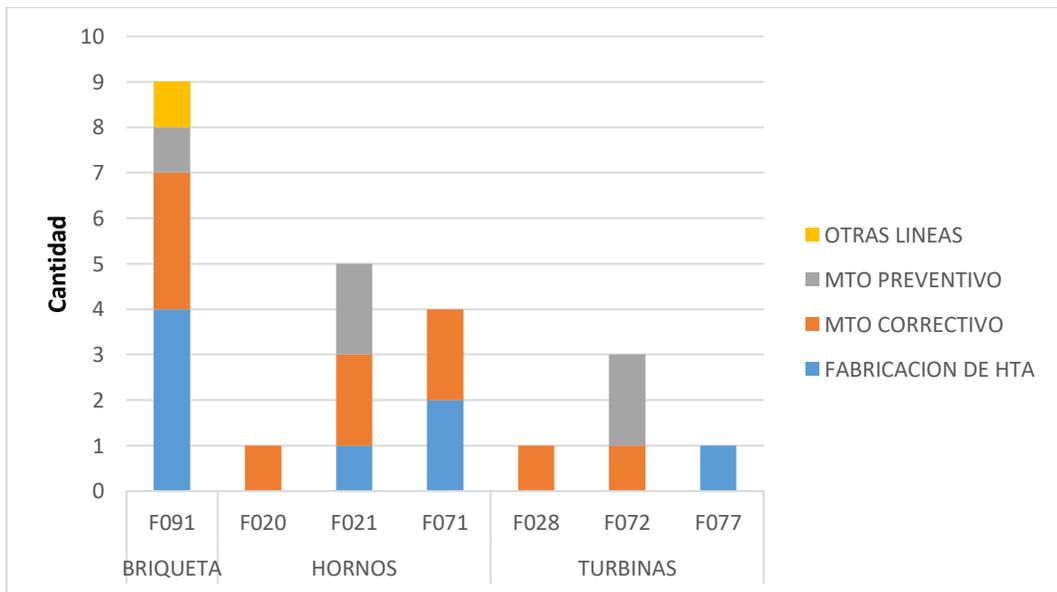


Figura 16 Solicitudes área fundición (hornos, turbinas, briqueteadora) - por tipo. Fuente: Autoría propia.

CENTRÍFUGAS

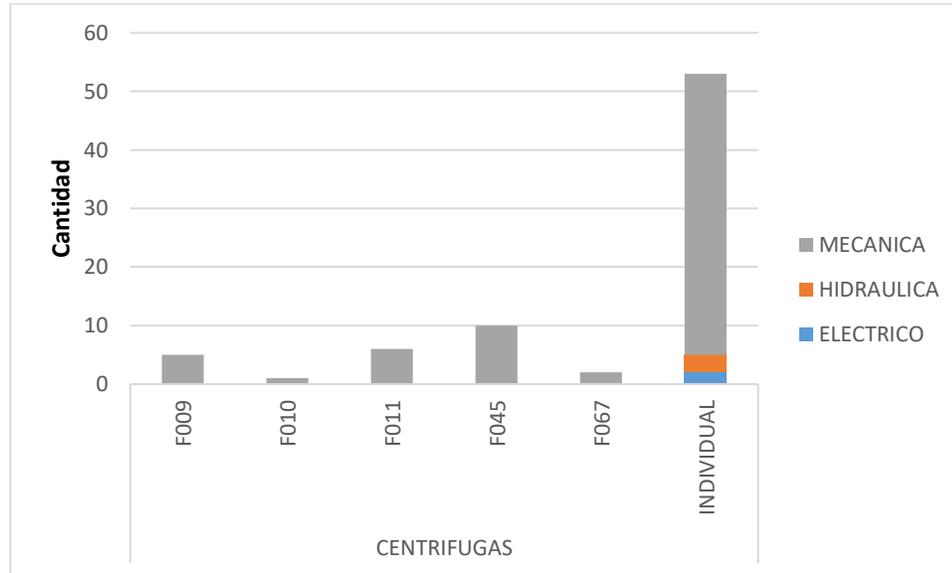


Figura 17 Solicitudes área fundición (centrífugas) - por especialidad. Fuente: Autoría propia.

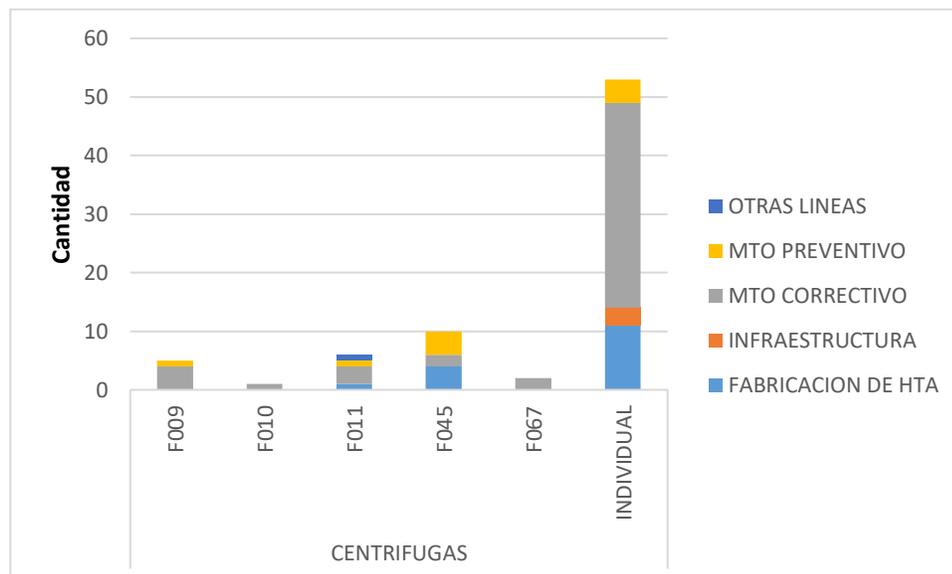


Figura 18 Solicitudes área fundición (centrífugas) - por tipo. Fuente: Autoría propia.

OTROS

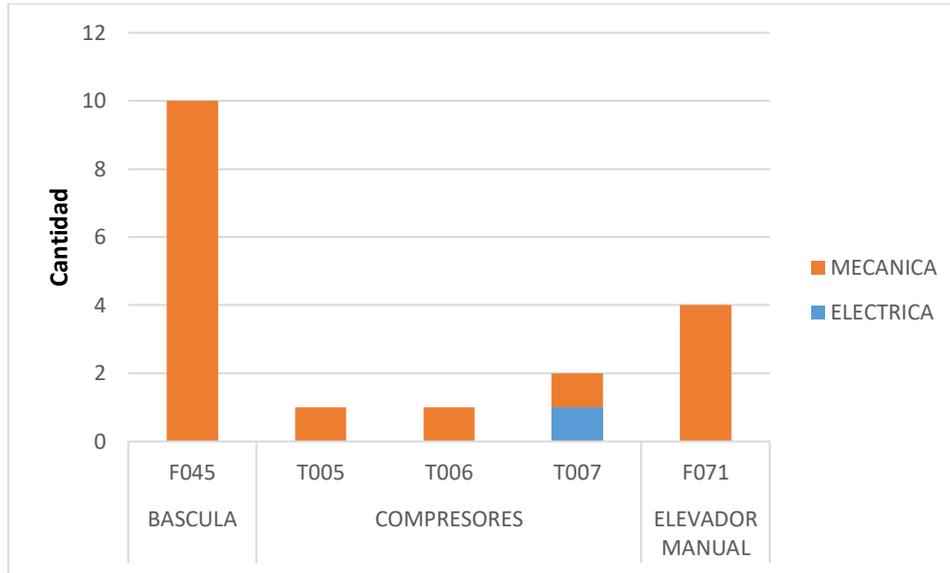


Figura 19 Solicitudes en otros equipos - por especialidad. Fuente: Autoría propia.

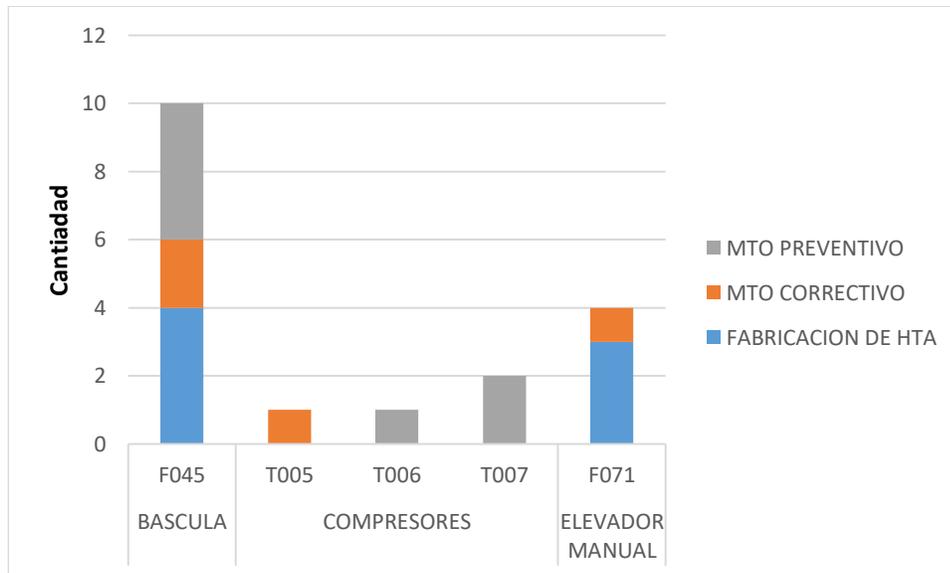


Figura 20 Solicitudes en otros equipos - por tipo. Fuente: Autoría propia.

PERSPECTIVA GLOBAL

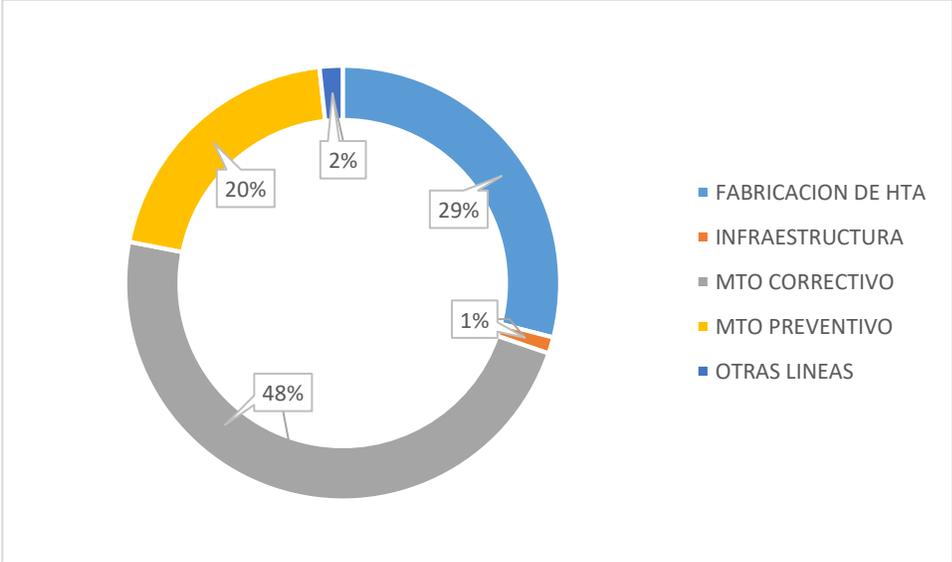


Figura 21 Mantenimiento LAVCO - por tipo. Fuente: Autoría propia.

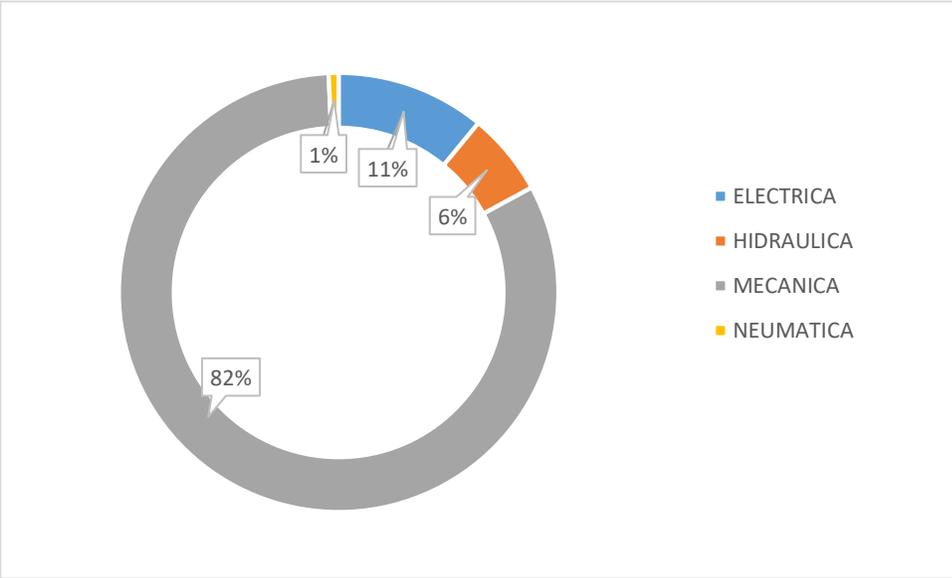


Figura 22 Mantenimiento LAVCO - por especialidad. Fuente: Autoría propia.

Los resultados muestran que el activo que más requiere mantenimiento son las centrífugas individuales, pero debe tenerse en cuenta que esta categoría unifica el mantenimiento de todas las unidades disponibles, sin embargo, demuestra que estos equipos de la fundición requieren gran dedicación del equipo técnico. Se recomienda hacer un análisis posterior que cuantifique la cantidad de horas invertidas en este tipo de arreglos, ya que con la estructuración de datos disponible no es posible hacer este análisis.

Los siguientes equipos con más registros de mantenimiento son las rectificadoras sin centros (M017 y M018), estas en promedio registran un 38% de labores preventivas, lo cual es un valor bajo en términos de ingeniería, pero representan los equipos con mayor atención preventiva en toda la empresa debido a su gran potencial de impacto en el flujo de producción.

En cuanto a cantidad de solicitudes, continúan los cuatro tronos CNC, estos requieren gran dedicación en la fabricación de herramientas, ya que los porta barras, barras y cabezales intercambiables son fabricados internamente por el mismo personal de LAVCO. Estas herramientas de carácter intercambiable o consumible deben hacerse como solicitud de “almacén” y sólo cuando la parte a fabricar es de uso exclusivo de una máquina se ponen a nombre de esta.

Sin embargo, como grupo los CNC son el tercer conjunto que más requiere mantenimientos correctivos, lo cual resalta un problema debido al nivel de especialización y costo de reparación de los mismos, por lo cual es mejor invertir gran cantidad de tiempo o recursos en mejorar las estrategias preventivas para prevenir altos costos en paradas por mantenimientos correctivos.

En cuanto a la estrategia preventiva levemente implementada, se resaltan el esfuerzo invertido en las rectificadoras, el torno convencional M041 y el torno CNC M055. Sin embargo, la Figura 21, demuestra que, de todos los datos analizado, en industrias LAVCO sólo el 20% de las labores de mantenimiento corresponde a acciones preventivas, mientras un 48% son de carácter correctivo, esto resalta la importancia de implementar la gestión preventiva.

Por último, se resalta en la Figura 22 que el 82% de las labores de mantenimiento son de especialidad mecánica, seguido por un 11% eléctrico, por lo cual es recomendable reforzar las habilidades mecánicas de todo el personal de mantenimiento para poder suplir las necesidades de forma distribuida entre todo el personal.

9.1.3 Comparación de datos históricos con matriz de criticidad

Industrias LAVCO tiene preestablecida una matriz de criticidad que se muestra en la Tabla 5, la cual tiene criterios fijos, que no han sido actualizados con el paso de los años, es por ello que se propone la actualización del criterio de frecuencia con los datos reales del último año, de esta manera se puede reevaluar la criticidad según el estado actual de los equipos y se va adaptando al modo de falla, consecuente a los años de uso de varias de las máquinas de la empresa. Se recomienda realizar este análisis al inicio de todos los años para reevaluar las prioridades del mantenimiento a programar y definir posibles cambios de estrategia.

MATRIZ DE CRITICIDAD		TIPO A Valor: 2 puntos		TIPO B Valor: 1 punto		TIPO C Valor: 0 puntos		
Elementos de evaluación	Desde	1,01	Hasta 2,00	Desde	0,81	Hasta 1,00	Desde 0,00	Hasta 0,80
L 5,0%	Legislación y auditorías	Está sujeto a la legislación y es obligatorio su desmontaje periódico		Es sujeto a auditorías internas y/o externas		No está sujeto a la legislación o auditorías		
S 5,0%	Seguridad, polución y entorno	Una falla podría causar serios problemas de seguridad y entorno en el área circundante		Una falla podría causar algunos problemas de seguridad y entorno en el área circundante		Una falla no causará problemas de seguridad o entorno en áreas circundantes		
Q 10,0%	Calidad y rendimiento	Una falla podría causar productos defectuosos o afectar seriamente el rendimiento		Una falla podría causar variaciones de calidad o afectar moderadamente el rendimiento		Una falla no podría afectar ni la calidad ni el rendimiento		
W 20,0%	Estatus de operación	Más de 15 horas de operación al día		Más de 7 horas de operación al día		Operación intermitente		
D 50,0%	Factor de retraso (costos de oportunidad)	Una falla de mas de 1 hora pararía o retrasaría el segmento de producción		Una falla de mas de 3 horas pararía o retrasaría el segmento de producción		Está disponible una unidad de reserva; es más económico esperar el fallo y repararlo		
P 5,0%	Período (intervalo de falla)	Paradas frecuentes (cada 6 meses o menos)		Paradas ocasionales (aproximadamente una vez al año)		Difícilmente se produce una parada en un año		
M 5,0%	Mantenibilidad	Tiempo de reparación mayor de 6 horas y/o costo de reparación mayor a \$1000 USD		Tiempo de reparación de 2 a 6 horas y/o costo de reparación de \$300 a \$1000 USD		Tiempo de reparación menor de 2 hora y/o costo de reparación menor a \$300 USD		

Tabla 5 Matriz de criticidad – criterios. Fuente: Documento interno LAVCO.

Para la comparación de los datos se filtra los resultados de la matriz preestablecida según el factor P (periodo – intervalo de falla) y se toman los 10 equipos con mayor calificación, los cuales registran frecuencias de falla de una o más veces al año, ver Tabla 6.

Estos son contrastados con los registros de mantenimiento correctivo del año 2019, extrayendo los 10 equipos con más mantenimientos correctivos realizados, como se observa en la Figura 23, estos tienen un límite mínimo de 6 mantenimientos correctivos al año.

Nombre de equipo	P (frecuencia)
TORNO CNC DOOSAN PUMA 400LC	A
TORNO CNC DOOSAN LYNX 300	A
TORNO CNC LEADWELL LTC 20B	A
TORNO CNC DAEWOO PUMA 400MB	A
TANQUE MEZCLADOR VERTICAL INYECTOR DE PINTURA	A
HORNO CUBILOTE PEQUEÑO	A
BRIQUETEADORA DE VIRUTA	A
COMPRESOR DE PISTON	B
RECTIFICADORA SIN CENTROS DE 5"	B

Tabla 6 Matriz criticidad desactualizada – evaluada por frecuencias de falla. Fuente: Autoría propia.

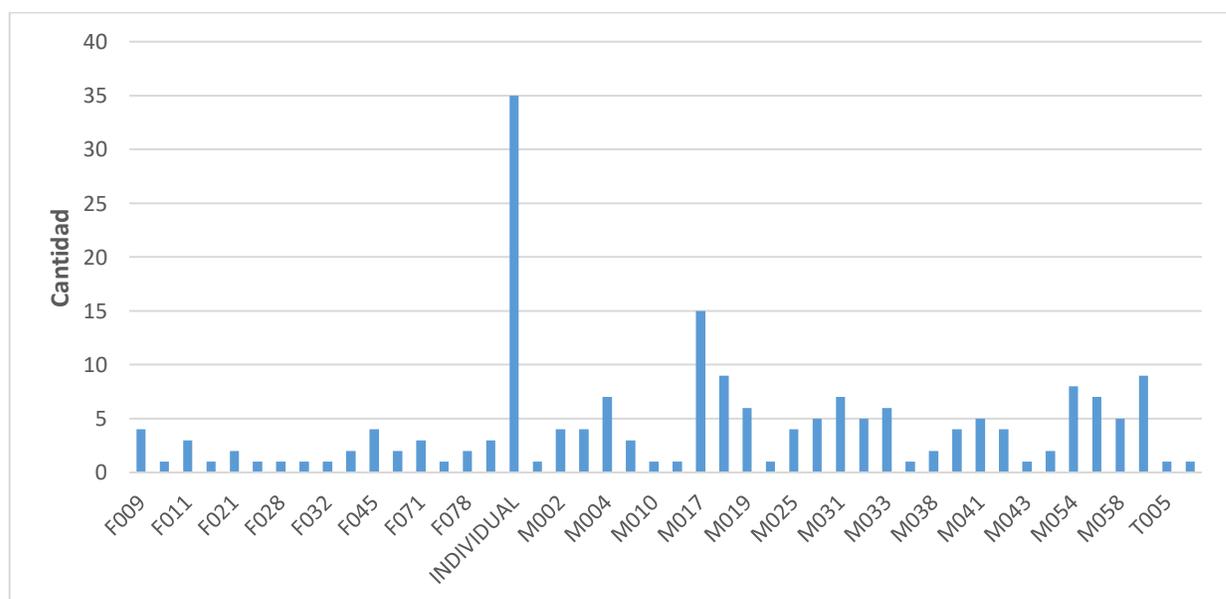


Figura 23 Equipos de mayor frecuencia de falla – 2019. Fuente: Autoría propia.

Se evidencia que equipos como el tanque mezclador, el horno cubilote pequeño y la briqueteadora no hicieron parte del grupo de mayor frecuencia de falla en el 2019, mientras las rectificadoras sin centros aumentaron su registro anual de fallas, fenómeno que debe ser estudiado con detenimiento para determinar si corresponde a envejecimiento, mala operación o un registro viciado del histórico de mantenimientos.

Con los datos encontrados se procede a actualizar las calificaciones de cada máquina según las nuevas frecuencias, obteniéndose una nueva definición de equipos críticos, ver Tabla 7. En conclusión, tras reevaluar el criterio de falla y juntarlo con los demás criterios previamente valorados por la empresa, se evidencia que los tornos CNC, las rectificadoras, el compresor de pistón y las bruñidoras son las máquinas en las cuales deben concentrarse los esfuerzos para realizar mantenimientos preventivos.

Cabe aclarar que el presente trabajo busca atender las necesidades de los equipos de mayor criticidad, pero se recomienda ampliar los planes preventivos a la totalidad de equipos.

Nombre de equipo	Elementos de evaluación							Criticidad
	L(5)	S(5)	Q(10)	W(20)	D(50)	P(5)	M(5)	
TORNO CNC DOOSAN PUMA 400LC	C	C	A	A	A	A	A	A
TORNO CNC DOOSAN LYNX 300	C	C	A	A	A	A	A	A
TORNO CNC LEADWELL LTC 20B	C	C	A	A	A	A	A	A
TORNO CNC DAEWOO PUMA 400MB	C	C	A	A	A	A	A	A
RECTIFICADORA SIN CENTROS DE 5"	C	C	A	A	A	B	A	A
RECTIFICADORA SIN CENTROS DE 12"	C	C	A	A	A	B	A	A
COMPRESOR DE PISTON	C	B	A	A	A	B	A	A
BRUÑIDORA ELECTRO-NEUMATICA 1	C	C	A	A	A	C	B	A
BRUÑIDORA ELECTRO-NEUMATICA 2	C	C	A	B	A	C	B	A

Tabla 7 Matriz de criticidad actualizada. Fuente: Autoría propia.

9.2 IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUBSISTEMA

Esta fase busca generar una clasificación lógica de la maquinaria para la distinción de subsistemas, a los cuales se les determinarán las respectivas labores de mantenimiento, con el adicional de poder agrupar las mismas según el conjunto al que pertenecen y realizar labores conjuntas de diferentes especialidades, según sea pertinente, en una misma parada programada.

9.2.1 REVISIÓN DE MANUALES DE OPERACIÓN Y PARTES DE EQUIPOS CNC

Para la revisión documental se cuenta con los manuales de fabricante para cada uno de los tornos CNC, disponibles en formato físico y digital en la empresa. De los otros equipos críticos no hay información técnica de fabricante disponible en la empresa.

Sin embargo, tras una revisión documental se encuentra una tesis de grado de la Universidad Industrial de Santander, del año 2014, en la cual se plantea un plan RCM para las dos rectificadoras, pero este nunca fue implementado y tampoco se registra información del mismo al interior de los documentos de máquina, ni referencia alguna por el personal actual de la empresa. Esto debido a la rotación de personal y fallas en la gestión documental de los históricos de mantenimiento, como se ha mencionado anteriormente.

A continuación, se referencian las fuentes usadas para el posterior análisis.

- DOOSAN LYNX 300, Instruction Manual – Maintenance and Technical Documents, L300INE11 (Doosan Infracore Co Ltd)
- DOOSAN PUMA 400L, Instruction Manual – Specifications & Maintenance Data, PM35INE12 (Doosan Infracore Co.Ltd)
- PUMA 350M / 350LM CNC Turning Center, Instruction Manual – Maintenance and Technical Documents (Daewoo Heavy Industries LTD)

- LEADWELL LTC 20B, Instruction Manual, IM-T021100 (Leadwell CNC Machines Mfg, 2002)
- Plan De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Rcm II) Para Máquinas Rectificadoras Sin Centros (M017 Y M018) En Industrias Lavco Ltda (Rodriguez & Parra, 2014)

9.2.2 SUBDIVISIÓN DE EQUIPOS EN SUBSISTEMAS, SEGÚN SU TIPO Y FUNCIÓN

Para facilitar la comprensión de la maquinaria por parte de los técnicos y el personal administrativo para la gestión adecuada de los planes preventivos se realiza una división de equipos según sus respectivos componentes y funciones.

En la Figura 24 y Figura 25 se muestran los diagramas para los subsistemas de las rectificadoras sin centros, por Rodríguez & Parra, según las clasificaciones de especialidad (mecánico, hidráulico y eléctrico).

Debido a la similitud de los cuatro tornos CNC, se simplificará el análisis de sistemas y subsistemas a un solo esquema global que reúna las características de todos, ver Figura 26, teniendo en cuenta que las diferencias radican en la capacidad o fabricante del componente, pero los mecanismos de acción son los mismos.

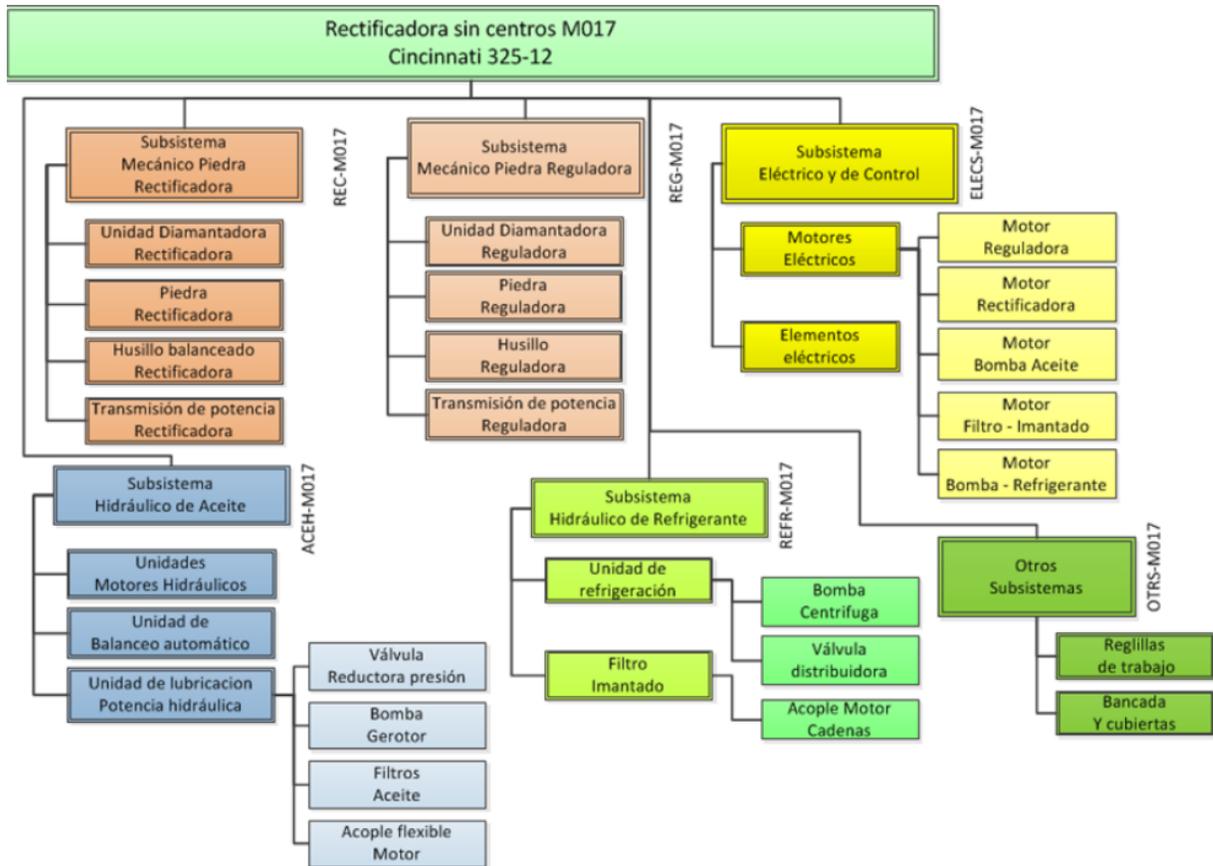


Figura 24 Sistemas de Rectificadora M017. Fuente: (Rodriguez & Parra, 2014).

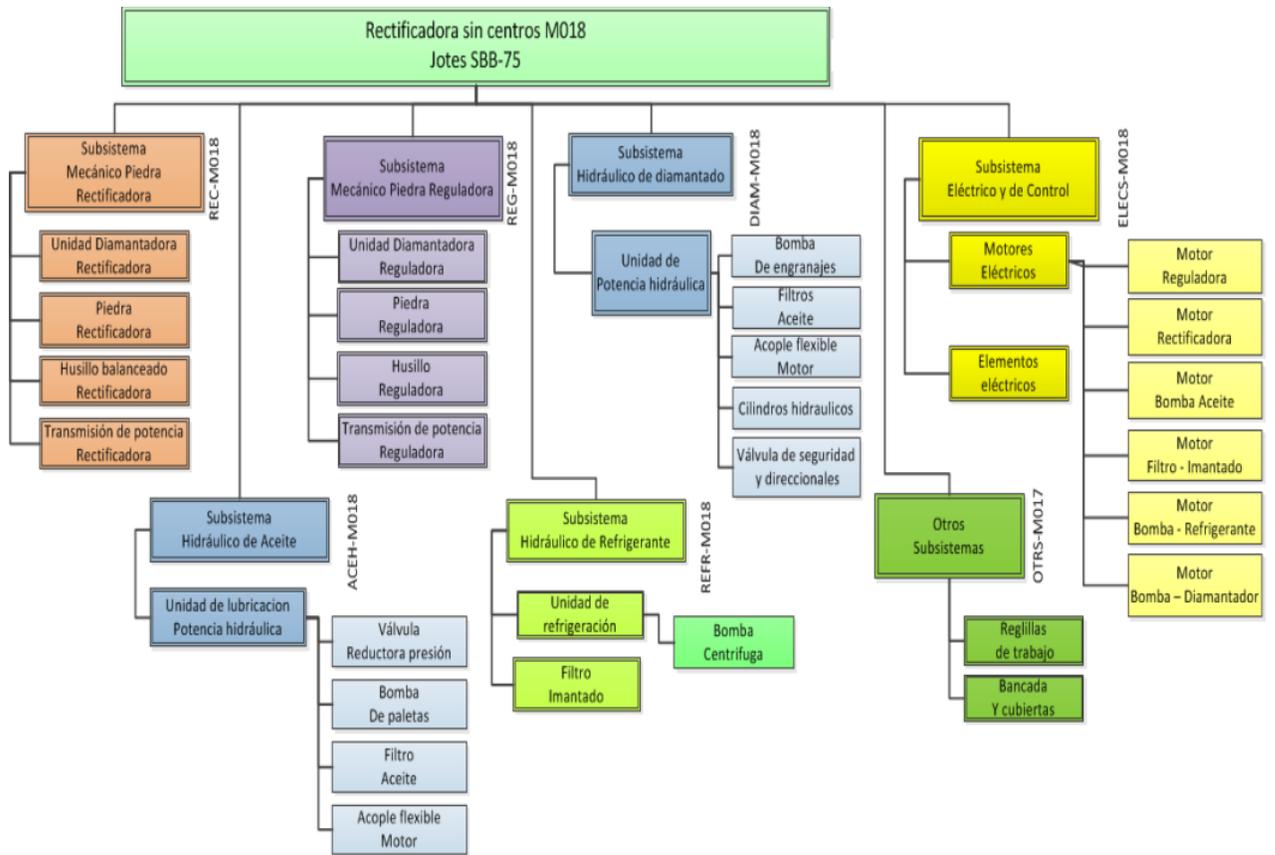


Figura 25 Sistemas de Rectificadora M018. Fuente: (Rodríguez & Parra, 2014).

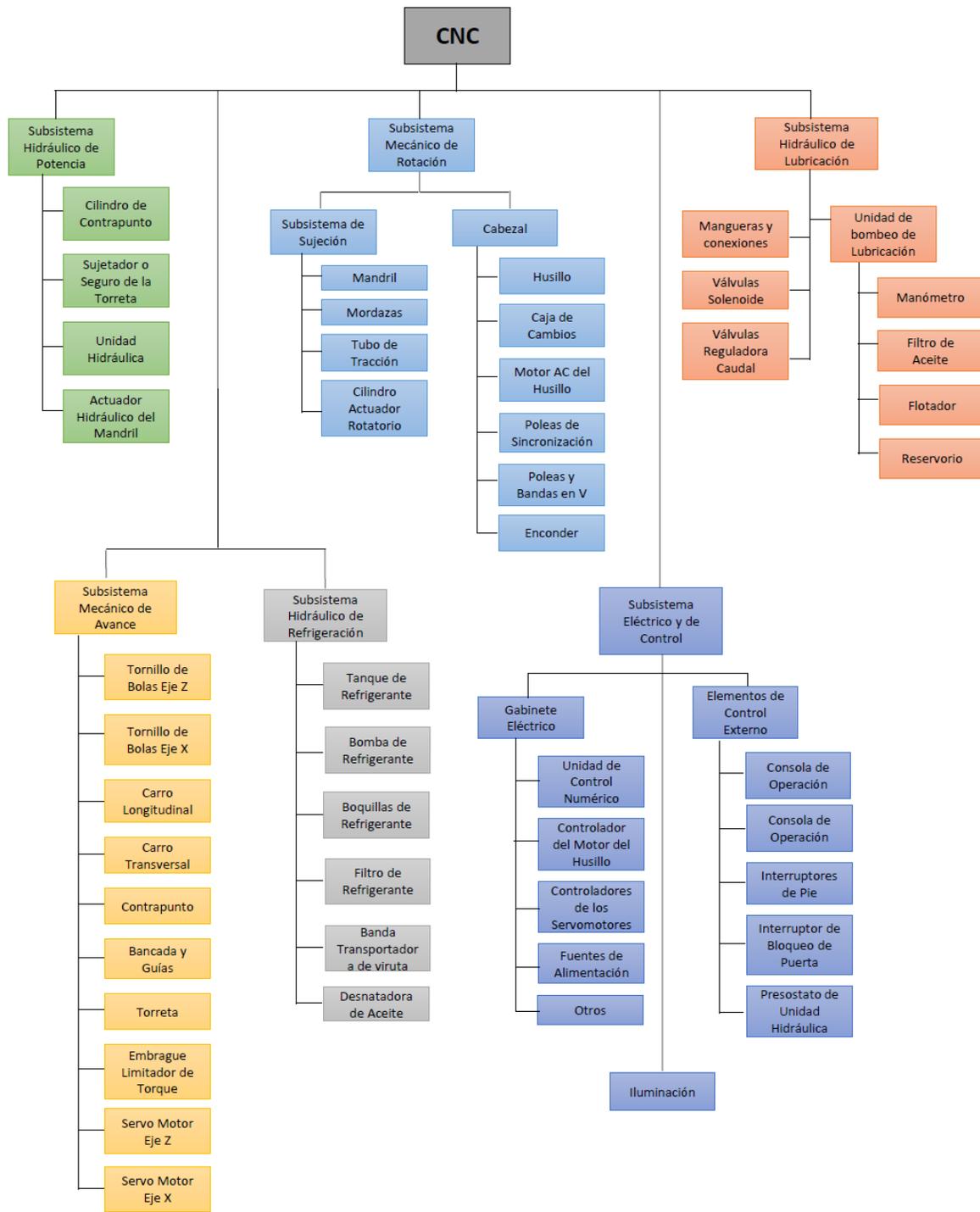


Figura 26 Sistemas de Tornos CNC. Fuente: Autoría propia.

9.3 GENERACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

9.3.1 PRIORIZACIÓN DE ACTIVIDADES Y DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS

Se tienen en cuenta las sugerencias del fabricante para la priorización del mantenimiento de cada uno de los equipos, pero se adaptan las frecuencias de reparación, según el contexto operacional propio de la máquina, para las horas de operación sugeridas (ver Tabla 8), además las mismas deben irse adaptando según la necesidad y el estado de vida del activo.

Maintenance description	Period	Method
Vibration & Noise of Ball screw	1,000 hours	To feel
Noise of Spindle Motor and transmission unit	1,000 hours	To feel
Hydraulic Oil	1,500 hours	Replace
Hydraulic Oil Tank Cleaning	3,000 hours	To clean
Chuck Cleaning	1,000 hours	To clean
Lubrication Oil Tank	1,000 hours	To clean
Lubrication Oil Filter	2,000 hours	Replace
Lubrication Oil Tube	1,000 hours	To lock
Hydraulic Oil Tube	1,000 hours	To lock
Heat Exchanger Filter Net	50 hours	To clean
Machine Level	1,000 hours	Measure
Chip Conveyor Gear Reducer Grease	1,000 hours	Grease
Coolant Tank Cleaning	1,000 hours	To clean
Air Filter Regulator	500 hours	To clean

Tabla 8 Frecuencias de mantenimiento sugeridas. Fuente: (Doosan Infracore Co Ltd).

Esto último puede ser reforzado en el largo plazo a través de un análisis estadístico que demuestre si las frecuencias usadas corresponden a un buen manejo del mantenimiento que reduzca las acciones correctivas. De esta manera ante cualquier reparación no

programada, de carácter repetitivo, se realiza un RCA que permita concluir si es necesario el cambio de frecuencia en el cronograma preventivo.

El plan de mantenimiento para los equipos críticos se puede ver en las siguientes tablas presentadas y comprende los 4 tornos CNC, así como las dos rectificadoras sin centros. Es necesario aclarar que por cuestiones de tiempo no es posible cubrir el desarrollo de las 3 bruñidoras y esto quedaría pendiente para un futuro estudio.

En el plan presentado se incluye una recopilación de las necesidades de todos los tornos CNC en la Tabla 9, en esta se enumeran todas las labores que se pueden hacer de manera interna por personal de la empresa. Sin embargo, los servicios externos como calibración del retroceso (backlash) por el desgaste de los tornillos de bolas o el cambio de rodadura lineal en la bancada (turcite) se dan según monitoreo de condición en compañía del contratista, para este caso IMOCOM.

Las actividades se agrupan de forma que se disminuya la cantidad de paradas y ante la intervención de un subsistema, con su posible desensamble, varios técnicos de diferentes especialidades puedan laborar conjuntamente, para así aumentar la eficiencia de cada parada.

Por otra parte, en la Tabla 10, se muestra una compilación y adaptación de los resultados obtenidos de un RCM realizado anteriormente, por un practicante universitario LAVCO, a las dos rectificadoras sin centros (Rodriguez & Parra, 2014).

Sin embargo, esta información no está registrada en el ecosistema de gestión de mantenimiento de Industrias LAVCO. De este último se seleccionan las actividades más importantes del personal técnico que son aplicables a las dos máquinas.

Debido a las fallas históricas de estrategias de mantenimiento registradas en la empresa, se propone una implementación paulatina y efectiva de lo propuesto en los planes e ir ampliando la cantidad de equipos hasta suplir el rango crítico y así superar la etapa correctiva. Sólo tras una correcta implantación de las estrategias preventivas, se recomienda iniciar el monitoreo de condición de los subsistemas mediante tomas de datos térmicos, eléctricos o modales.

SISTEMA	INSPECCIÓN	FRECUENCIA
SISTEMA DE ROTACIÓN	Limpieza y engrase de mordazas de la copa	MENSUAL
	Verificar nivel y llenar de aceite de la caja de engranajes del husillo	MENSUAL
	Limpieza ventilador de motor del husillo	3 MESES
	Limpieza de correas de husillo	3 MESES
	Cambiar aceite de la caja de engranajes del husillo	6 MESES
	Verificar desgaste y tensional correa dentada del motor del husillo	6 MESES
	Verificar y tensionar correas V entre el husillo y el motor/caja de engranajes	6 MESES
SISTEMA MECÁNICO DE AVANCE	Desmontaje de herramientas, limpieza de posiciones de torreta y ductos de refrigeración	3 MESES
	Cambio de tornillería defectuosa en la torreta y engrase con anti aferrante (anti-seize)	3 MESES
	Limpiar acumulaciones de viruta y engrasar contrapunto	3 MESES
	Verificar y llenar hasta nivel el aceite (ISO 32) del tren de engranajes de la torreta	6 MESES
	Limpieza guías lineales o prismáticas	3 MESES
	Verificar estado de cauchos (labios) limpiadores de guardas telescópicas y guías	3 MESES
	Engrasar guardas telescópicas	3 MESES
	Verificar alineación de torreta	ANUAL
Comprobar y ajustar el nivel de la bancada	ANUAL	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Limpieza tanque de lubricación	MENSUAL
	Inspeccionar y limpiar filtros de lubricación	MENSUAL
	Verificar correcto funcionamiento de la bomba	MENSUAL
	Verificar puntos de lubricación y fugas de aceite de las líneas de lubricación	ANUAL
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Lavado de banda transportadora de viruta, tanque de refrigerante y filtros	MENSUAL
	Engrasar banda transportadora de viruta	MENSUAL
	Chequeo general de la bomba de refrigerante	6 MESES
	Chequeo general del desnatador de aceite (oil skimmer)	6 MESES
SISTEMA HIDRÁULICO	Limpieza de radiador del aceite	3 MESES
	Chequeo general de la bomba hidráulica	3 MESES
	Verificar fugas de aceite y mangueras defectuosas	ANUAL
	Limpieza de tanque y filtro	ANUAL
	Cambio de aceite hidráulico	ANUAL
SISTEMA ELÉCTRICO	Verificación y ajuste de contactos/terminales sueltos	6 MESES
	Limpieza de chiller, filtros y ventiladores de refrigeración de la cabina eléctrica	MENSUAL
OTROS	Limpiar unidad de mantenimiento neumático, drenar condensado y llenar el depósito de lubricación	MENSUAL

Tabla 9 Mantenimiento preventivo tornos CNC. Fuente: Autoría propia.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO RECTIFICADORAS M017 & M018		
SUBSISTEMA	INSPECCIÓN	FRECUENCIA
Piedra Rectificadora	Cambiar la piedra rectificadora	4 MESES
	verificar desgaste de correas y tensionarlas	8 MESES
	Revisar la pista externa de los rodamientos del husillo en busca de ralladuras y cambios de color.	8 MESES
	Revisar ajuste de la transmisión, alineación de las poleas y el rotor del motor, lubricación de los rodamientos, montaje del motor.	8 MESES
	Limpiar la montura de la piedra, eliminado los sedimentos de suciedad impregnados	4 MESES
	Aplicar grasa a los tornillos antes de colocarlos en la brida, cambiar los que presenten corrosión.	4 MESES
	Ajustar tonillos siguiendo el patrón de estrella (30 lb-f en cada tornillo)	4 MESES
	Verificar fugas del circuito hidráulico de balanceo, el estado de la válvula de alivio de presión y de la válvula de control de dirección.	8 MESES
	Limpiar rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar	15 DÍAS
	Desmontar la carcasa del diamantador, realizar limpieza, retirar sedimentos y lubricar	1 AÑO
Piedra Reguladora	verificar desgaste de correas, tensionarlas y cambiarlas de ser necesario	8 MESES
	Verificar el estado de cadenas y coronas, alineación, lubricación por goteo, buscar desgaste en las articulaciones y picaduras en los dientes.	8 MESES
	Revisar la pista externa de los rodamientos del husillo y caja engranajes, en busca de ralladuras o cambios de color.	8 MESES
	Revisar ajuste de la transmisión, alineación de las poleas y el rotor del motor, lubricación de los rodamientos, montaje del motor.	8 MESES
	Revisión del mecanismo de engranaje de variación del paso de la polea, limpiar y lubricar.	8 MESES
	Revisión de engranajes de en caja de cambios, búsqueda de ralladuras o picaduras en las pistas de los rodamientos y engranajes, lubricar	8 MESES
	Revisión de mecanismo del tacómetro, conjunto cadena y corona, rodamientos y eje flexible, lubricar	8 MESES
	Aplicar grasa a los tornillos antes de colocarlos en la brida, cambiar los que presenten corrosión.	8 MESES
	Ajustar tonillos siguiendo el patrón de estrella (30 lb-f en cada tornillo)	8 MESES
	Limpiar la montura de la piedra, eliminado los sedimentos de suciedad impregnados.	8 MESES
	Limpiar rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar	15 DÍAS
	Desmontar la carcasa del diamantador, realizar limpieza, retirar sedimentos y lubricar	8 MESES

Hidráulico de aceite	Reemplazar el filtro usado	3 MESES
	Revisar válvulas del sistema (direccional, reguladora, anti retorno), verificar su fácil accionamiento. Si se presenta desgaste programar cambio.	1 AÑO
	Limpia válvulas del sistema (direccional, reguladora, anti retorno) y sus partes internas, asegurando que contaminantes externos no ingresen a los elementos.	1 AÑO
	Revisar y limpiar partes internas de motor y bomba, buscar ralladuras, reemplazar el anillo cuando estas sean excesivas	1 AÑO
	Revisar el estado de los rodamientos de la bomba, alineación del acople y soltura mecánica.	1 AÑO
	Reemplazar los sellos gastados de la bomba.	1 AÑO
	Revisar el estado de las líneas de distribución en los husillos, observar que esté libre de obstrucciones y fugas, observar ruptura y realizar su reemplazo.	1 AÑO
	Revisar el estado de las líneas de distribución a la caja de engranajes, guías de la bancada, cadena de transmisión, comprobar el funcionamiento de la bomba manual.	1 AÑO
	Revisar el estado de las líneas de distribución al sistema hidráulico de balanceo, comprobar el estado de los elementos libres de obstrucciones o fugas.	1 AÑO
	Revisar el estado de las líneas de distribución y acoples en general, comprobar el estado de los elementos libres de obstrucciones o fugas. Realizar los cambios pertinentes.	1 AÑO
Refrigerante	Limpieza total del tanque de refrigerante. Restablecer el volumen del mismo.	15 DÍAS
	Limpia el impeler de la bomba y revisar su ajuste.	1 AÑO
	Revisión de caja de engranajes, limpiando suciedad proveniente del refrigerante y posteriormente lubricar.	1 AÑO
	Revisión y limpieza de cadena de transmisión, tensionar y aplicar grasa. Realizar cambio si es pertinente.	1 AÑO
	Revisar pistas externas de rodamientos, limpiar lubricación contaminada y reemplazarla, evitar el exceso y carencia de grasa	1 AÑO
	Revisar fugas en el tanque y estado de mangueras. Cambiar las necesarias.	1 AÑO

Eléctrico	Limpiar polvo y realizar prueba de funcionamiento de bornes del contactor.	4 MESES
	Ajustar las conexiones de relé, limpiar y verificar aislamientos	4 MESES
	Verificar el estado de los cables de conexión, comprobar el estado de los aislamientos y la conductividad	4 MESES
	Realizar una inspección de conductividad entre los bornes del interruptor y de ajuste de los mismos.	4 MESES
	Revisar las conexiones del amperímetro y comprobar su funcionamiento	4 MESES
	Verificar los bornes del motor que estén libres de corrosión y suciedad realizar respectivos ajustes	6 MESES
	Verificar la alineación paralela, concéntrica y angular.	8 MESES
	Realizar una limpieza profunda de los motores (carcasa, cajas de conexión, bobinas y ventilador)	2 AÑOS
	Verificar el estado de los devanados de motores, restaurando su aislamiento.	2 AÑOS
	Verificar y ajustar las bases de motores evitando la vibración remanente.	2 AÑOS
Otros	Limpiar reglilla, verificar el estado del ángulo, desgaste guías y resortes de restitución. Rectificar o fabricar en dado caso.	1 MESES
Hidráulico - Diamantado (M018)	Reemplazar los filtros usados	3 MESES
	Revisión y limpieza de las partes internas de las válvulas del sistema. Asegurando que contaminantes externos no ingresen a los elementos	1 AÑOS
	Revisión y limpieza de las partes internas de la bomba, buscar ralladuras en la pista interna.	1 AÑOS
	Revisar el estado de la pista externa de los rodamientos de la bomba, alineación del acople y soldadura mecánica	1 AÑOS
	Revisar válvulas (direccional y de control de caudal) limpiarlas, verificar funcionamiento y evitar el ingreso de suciedad durante la revisión.	1 AÑOS
	Asear los rieles del carro diamantador y posteriormente lubricar	1 AÑOS
	Revisar líneas de distribución, buscar obstrucciones, fugas o rupturas.	1 AÑOS
	Reemplazar sellos	1 AÑOS

Tabla 10 Mantenimiento preventivo rectificadoras sin centros. Fuente: Autoría propia.

9.3.2 GENERACIÓN DE CRONOGRAMA DINÁMICO

Para facilitar la gestión de la planeación del mantenimiento se genera un documento automatizado en Microsoft Excel, en este se muestran las actividades preventivas para cada máquina crítica. Al ingresar la última fecha de ejecución y la frecuencia establecida, se determina la próxima fecha planeada y se indica en las alertas la cantidad de días faltantes para la misma, como se observa en la Tabla 11.

La ventaja de un cronograma dinámico es que permite la flexibilidad en aplicación de fechas y adaptabilidad según se actualicen las labores pendientes. También se brinda la posibilidad de variar la frecuencia, para así poder adaptar la variable en el cronograma, según se progrese en la fase de implementación. Adicionalmente cada que se abre el documento emerge un mensaje que recuerda cuantas solicitudes hay en cada uno de los estados posibles, como se muestra en la Figura 27.

EQUIPO	ACTIVIDAD	ULTIMA EJECUCI	FRECUENCIA (SEMANA)	PRÓXIMA EJECUCI	Alertas
M055	Limpiar ventilador del husillo	5/04/2020	13	5/07/2020	Faltan 52 días
M055	Verificar y tensional correas V entre husillo y motor	17/03/2020	26	15/09/2020	Faltan 124 días
M058	Cambio de tornillería defectuosa en la torreta y engrase con antiferrante	12/01/2020	13	12/04/2020	Vencido hace 32 días
M059	Lavado de banda transportadora y tanque de refrigerante	19/04/2020	4	17/05/2020	Faltan 3 días
M059	Limpieza de radiador del aceite	14/04/2020	13	14/07/2020	Faltan 61 días
M059	Cambio de aceite hidráulico	7/10/2019	52	5/10/2020	Faltan 144 días
M059	Limpieza de chiller, filtros y ventiladores de cabina eléctrica	16/04/2020	4	14/05/2020	Vence hoy
M054	Limpiar unidad de mantenimiento neumático	18/04/2020	4	16/05/2020	Faltan 2 días

Tabla 11 Cronograma de planeación preventiva. Fuente: Autoría propia.

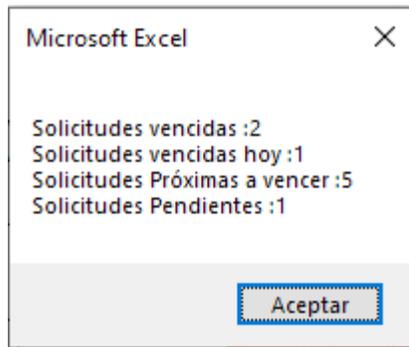


Figura 27 Mensaje emergente de alertas de solicitudes

9.4 OTRAS ACTIVIDADES

9.4.1 Planta eléctrica

Entre las principales actividades adicionales se encuentra el acompañamiento al diagnóstico energético para el plan de eficiencia, la cual inició con una revisión total de la planta eléctrica debido a la identificación de fallas constantes (vibratorias, eléctricas y de combustión) en el proceso de arranque de la misma y la identificación falencias en el proceso de mantenimiento, al no tenerse claro un protocolo cronológico preventivo interno y/o externo.

Tras una evaluación del personal de mantenimiento interno se establece que no se cuenta con el personal adecuado para manejar inspecciones eléctricas de alta tensión por lo cual se hace la misma apoyados en la subcontratación de la empresa TRYENERGY, representante para Colombia de la multinacional CUMMINS.

Para el diagnóstico es necesario el retiro del equipo para el desensamble del mismo en instalaciones del contratante, con la debida coordinación de levantamiento de cargas de un sistema de alto valor. En la Figura 28 se observa el registro fotográfico del proceso de retiro de la planta original, para la posterior instalación de una nueva unidad que funcionará temporalmente como respaldo, durante el proceso de reparación.

Tras el desensamble, se recibe un reporte de inspección, con el cual se procede a una validación en las instalaciones del contratante y un análisis de costo-beneficio-causa raíz del daño producido. Se determinan, junto a TRIENERGY, las reparaciones que resultan imperativas para poder poner en funcionamiento la planta eléctrica, algunas de estas se pueden observar en la Figura 29.

Tras el proceso, se concluye de manera imperante que el sistema de suministro de combustible no puede estar compuesto por un tanque de acero y el mismo no puede ser de gran magnitud, pues ante variaciones de temperatura el combustible se condensa y las gotas de agua descienden al fondo, en donde se facilita la proliferación de algas

que obstruyen los filtros. Además, el agua en combinación con el azufre oxida la superficie de acero y genera material particulado metálico que destruye el sistema de inyección y desgasta prematuramente las camisas del motor.

Además, cuando se produce condensación una parte del agua se emulsiona con el combustible, produciendo combustión incompleta, generación de hollín y pérdida de potencia.



Figura 28 Retiro y cargue de planta eléctrica. Fuente: Autoría propia.

Por otra parte, el deterioro de los sellos de la tapa del cárter permitió una mezcla indeseada entre el refrigerante que circula en el bloque y el aceite de lubricación, esto

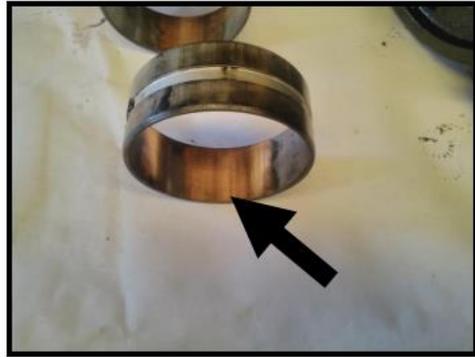
produce una emulsión en el sistema de lubricación que deteriora las propiedades viscosas y por tanto el efecto del lubricante.

A largo plazo, el flujo de refrigerante también produce la oxidación de la tapa y el bloque, con lo cual pequeñas partículas metálicas ingresan en el sistema de lubricación, generando un efecto abrasivo en todas las partes sometidas a fricción, esto se evidencia en deterioro de los casquetes, seguidores (rodajas), árbol de levas y bujes.

Por último, se advierte que los daños corresponden a un desgaste prematuro del sistema, debido al descuido del mantenimiento en el equipo y la falta de programación para las revisiones rutinarias, además de la manipulación por personal no especializado en motores de combustión.



Fotografía 12. Camisas de cilindro con desgaste, no son aptas para la reutilización se deben reemplazar para garantizar el buen funcionamiento del motor.



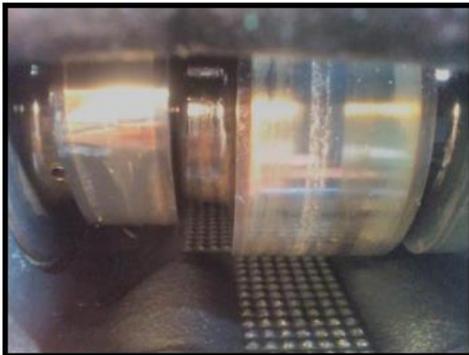
Fotografía 16. Bujes eje de levas con desgaste en la capa protectora, no aptos para la reutilización.



Fotografía 14. Casquetes de bancada con desgaste capa protectora no aptos para la reutilización.



Fotografía 18. Rodajas de inyector se encuentran en mal estado con rayaduras, elemento no reparable se debe reemplazar.



Fotografía 19. Eje de levas en mal estado, se encuentra picado y rayado, este componente no es reparable se debe reemplazar.



Fotografía 28. Se encuentra internamente el alternador muy contaminado con grasa y polvo se debe desarmar y realizar el mantenimiento para evitar a futuro entre en corto circuito.

Figura 29 Reporte de inspección de planta eléctrica. Fuente: Autoría propia.

9.4.2 Consumo de energía reactiva

Como segundo paso del plan de diagnóstico de eficiencia energética, se realiza un monitoreo del consumo excesivo de energía reactiva consumida por la empresa, ya que han sido recibidas varias advertencias por parte de la prestadora del servicio ESSA, sobre posibles multas si se mantiene el consumo irregular.

Es importante tener en cuenta que la Comisión de Regulación de Energía y Gas está iniciando con el periodo de adaptación de la resolución CREG 199 de 2019, mediante la cual se modifica la resolución 015 de 2018 sobre el transporte de energía reactiva. Durante todo el año 2020 se permite que las industrias realicen sus inversiones y ajustes de procesos, para así implementar los pagos desde enero de 2021.

La nueva resolución establece un factor multiplicativo al costo de distribución (\$/kWh) para la energía reactiva, este puede aumentar de manera continua hasta un valor de 12, que establece el sobre costo máximo permitido para el pago compensatorio.

Las penalizaciones empiezan a regir a partir de un consumo de energía reactiva inductiva mayor al 50% del total de energía activa por hora, sin embargo, se recomienda tener un balance seguro del 25% para poder absorber sobrecargas del sistema sin sobrepasar los límites.

Debido a lo anterior se realiza un análisis de consumo, mediante mapa de calor, basado en los datos de monitoreo en línea de Empresas Públicas de Medellín (EPM), con el fin de mejorar la visualización de los datos y poder hacer un análisis de causa raíz. Las matrices de la Tabla 13 y Tabla 14 registran los porcentajes de energía reactiva respecto a la activa para cada hora en el periodo de octubre 1 de 2019 hasta febrero 24 de 2020.

La leyenda usada y su conversión a factor de potencia (FP) para monitoreo se muestra en la Tabla 12. Es importante tener en cuenta el significado del FP en el monitoreo diario, ya que representa la proporción entre la energía activa y reactiva estandarizada según el coseno de Φ entregado, estos valores pueden ser inspeccionados en tiempo

real por parte de los operarios, mediante los sensores digitales disponibles en el tablero principal, cada que se hace una inspección.

COLOR	% REACTIVA VS ACTIVA		FACTOR POTENCIA	
	MIN	MAX	MIN	MAX
	0%	5%	1,000	0,999
	5%	15%	0,999	0,989
	15%	25%	0,989	0,970
	25%	40%	0,970	0,928
	40%	50%	0,928	0,894
	50%	75%	0,894	0,800
	75%	100%	0,800	0,707

Tabla 12 Leyenda de consumos reactivos y factor de potencia equivalente. Fuente: Autoría propia.

Día/ Mes/Año	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	
01/10/2019	1,3%	2,3%	1,4%	1,2%	0,2%	0,5%	6,6%	22,6%	17,2%	13,2%	25,8%	23,3%	10,2%	14,3%	1,0%	1,6%	0,4%	1,4%	0,7%	0,4%	2,0%	0,0%	1,5%	0,4%	
02/10/2019	0,7%	0,0%	0,2%	0,3%	1,2%	8,5%	20,8%	29,4%	22,9%	29,0%	25,9%	29,2%	26,9%	24,1%	14,0%	3,4%	0,7%	0,3%	0,4%	0,1%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	
03/10/2019	0,4%	0,3%	0,7%	0,9%	0,1%	0,0%	7,3%	21,7%	21,8%	23,4%	31,8%	30,2%	12,0%	22,3%	8,1%	7,0%	1,8%	0,4%	0,9%	2,4%	2,1%	0,5%	1,3%	1,6%	
04/10/2019	2,4%	1,5%	1,5%	2,4%	6,4%	14,5%	25,5%	39,6%	29,9%	28,8%	37,4%	29,5%	19,9%	23,1%	14,4%	1,0%	0,3%	0,4%	1,2%	2,5%	2,7%	1,0%	1,2%	1,0%	
05/10/2019	1,4%	0,6%	0,7%	0,6%	0,1%	0,9%	5,0%	22,2%	20,4%	28,5%	29,9%	24,4%	14,9%	12,3%	11,0%	0,2%	0,4%	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	
06/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,2%	0,0%	0,0%	0,4%	1,3%		
07/10/2019	0,7%	0,6%	0,1%	0,0%	3,0%	13,9%	18,6%	26,3%	26,5%	34,5%	35,9%	32,9%	32,9%	27,1%	12,9%	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%	0,0%	
08/10/2019	0,0%	0,1%	0,1%	0,6%	0,0%	0,2%	5,3%	15,4%	12,0%	22,4%	18,7%	20,1%	18,1%	18,7%	1,1%	2,1%	0,0%	0,3%	1,2%	0,6%	0,3%	0,2%	1,3%	0,7%	
09/10/2019	0,2%	0,4%	0,0%	0,4%	3,2%	24,5%	19,2%	29,2%	31,0%	39,8%	40,3%	40,8%	37,9%	29,2%	11,0%	1,0%	0,7%	0,1%	0,8%	0,1%	0,1%	0,1%	0,8%	0,2%	
10/10/2019	0,6%	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	7,0%	21,2%	13,7%	29,1%	37,7%	25,4%	26,2%	22,6%	1,1%	1,9%	0,1%	0,3%	0,0%	0,2%	0,1%	0,1%	0,4%	0,1%	
11/10/2019	0,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%	14,2%	23,1%	13,3%	23,5%	26,4%	23,1%	22,9%	25,8%	0,6%	2,6%	0,5%	0,2%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	
12/10/2019	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,2%	33,9%	24,4%	24,3%	35,5%	34,0%	16,0%	9,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
13/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
14/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
15/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	3,9%	4,7%	18,4%	20,8%	16,9%	6,5%	9,2%	0,4%	0,9%	1,0%	0,6%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	
16/10/2019	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,1%	0,7%	1,1%	8,8%	17,5%	8,2%	5,6%	12,6%	4,8%	11,5%	2,4%	1,4%	0,7%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
17/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,5%	5,8%	6,9%	10,5%	9,7%	10,4%	5,3%	8,6%	3,7%	2,6%	0,7%	0,4%	0,0%	0,0%	0,1%	2,8%	0,0%	0,0%	
18/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	2,7%	12,6%	17,6%	22,1%	19,6%	20,7%	18,8%	20,3%	20,3%	19,3%	17,3%	10,4%	3,3%	0,9%	0,5%	1,7%	1,5%	1,3%	0,0%	0,6%	
19/10/2019	0,8%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,4%	10,2%	10,2%	10,7%	10,9%	4,7%	4,1%	2,8%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
20/10/2019	1,7%	3,2%	1,7%	1,6%	1,8%	0,0%	6,4%	7,1%	4,5%	2,2%	1,8%	1,2%	0,3%	0,1%	1,7%	1,6%	1,4%	0,0%	1,9%	3,2%	2,1%	3,1%	5,8%	2,3%	
21/10/2019	6,3%	2,8%	1,5%	5,2%	2,0%	9,9%	21,6%	24,0%	20,7%	12,4%	21,4%	23,9%	20,4%	18,8%	18,1%	6,7%	1,0%	2,0%	1,1%	1,5%	0,0%	0,1%	0,3%	0,0%	
22/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	2,2%	10,0%	10,0%	0,1%	12,1%	16,7%	24,6%	21,5%	2,7%	2,1%	4,5%	0,9%	1,1%	0,7%	0,5%	0,7%	2,7%	0,8%	
23/10/2019	0,2%	0,1%	0,7%	0,2%	6,4%	9,2%	7,1%	34,9%	21,9%	16,5%	37,6%	34,4%	11,5%	13,1%	3,9%	1,3%	0,3%	0,1%	1,5%	0,5%	1,1%	2,3%	0,0%	1,5%	
24/10/2019	1,4%	0,8%	0,6%	1,1%	2,9%	13,8%	20,8%	25,9%	21,1%	19,5%	14,3%	28,7%	27,3%	33,0%	14,6%	2,5%	1,7%	0,6%	0,2%	0,4%	0,0%	0,1%	0,2%	0,6%	
25/10/2019	0,6%	0,6%	0,9%	0,2%	0,4%	0,0%	5,9%	24,2%	20,4%	2,0%	29,4%	25,1%	14,4%	26,6%	16,0%	11,0%	3,3%	1,4%	0,7%	0,3%	0,1%	0,6%	0,9%	0,1%	
26/10/2019	0,3%	0,1%	0,2%	0,1%	0,4%	15,1%	27,7%	40,7%	36,8%	38,9%	35,4%	38,4%	28,5%	24,5%	11,4%	1,9%	0,2%	0,0%	0,3%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	
27/10/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,2%	0,0%	
28/10/2019	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,5%	0,0%	9,9%	11,9%	12,3%	33,3%	30,8%	37,9%	19,0%	30,5%	22,4%	23,1%	1,2%	0,1%	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,4%	0,9%	
29/10/2019	0,1%	0,0%	0,1%	0,2%	1,7%	15,6%	24,7%	35,2%	32,9%	34,6%	41,5%	38,3%	26,5%	26,3%	22,1%	8,1%	2,7%	0,8%	0,0%	0,4%	0,6%	0,0%	0,4%	1,5%	
30/10/2019	0,2%	0,3%	0,4%	0,1%	0,2%	0,2%	14,6%	22,7%	17,1%	10,4%	26,6%	23,6%	10,2%	25,0%	11,8%	7,3%	1,3%	0,3%	0,2%	0,0%	0,3%	0,2%	0,0%	0,0%	
31/10/2019	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,7%	15,7%	19,0%	27,0%	27,7%	43,7%	44,5%	39,4%	33,0%	28,7%	28,2%	19,6%	14,9%	6,5%	7,4%	5,4%	8,0%	7,2%	8,8%	10,5%	
01/11/2019	9,8%	6,3%	12,1%	4,1%	4,8%	5,9%	16,4%	30,1%	29,1%	28,8%	26,8%	23,8%	22,3%	20,9%	17,7%	12,0%	3,4%	2,9%	5,4%	13,7%	4,7%	3,8%	4,6%	3,0%	
02/11/2019	5,2%	2,8%	3,5%	4,2%	18,7%	27,4%	29,6%	30,4%	28,1%	29,1%	33,8%	39,5%	26,7%	25,4%	21,2%	3,1%	2,2%	1,8%	1,0%	1,2%	0,7%	1,3%	0,0%	0,7%	
03/11/2019	1,1%	0,8%	0,7%	1,7%	0,8%	0,0%	1,4%	3,8%	6,3%	4,6%	0,8%	2,3%	2,9%	2,4%	0,8%	2,3%	1,8%	0,5%	0,9%	2,1%	1,3%	2,5%	1,4%	1,8%	
04/11/2019	4,9%	1,6%	0,2%	1,2%	1,0%	1,2%	2,1%	3,3%	4,8%	3,8%	7,0%	4,4%	5,2%	1,7%	5,6%	1,9%	1,2%	2,2%	6,5%	3,1%	4,6%	3,4%	7,8%	11,3%	
05/11/2019	2,6%	8,8%	3,1%	5,2%	6,9%	4,6%	12,5%	27,8%	34,6%	34,2%	39,7%	26,4%	18,5%	16,5%	14,1%	16,4%	8,0%	2,5%	4,7%	5,1%	3,9%	4,8%	13,6%	11,7%	
06/11/2019	10,7%	9,3%	11,5%	4,9%	23,0%	29,9%	33,7%	33,0%	28,7%	30,2%	30,8%	34,8%	31,3%	31,2%	30,0%	19,8%	6,0%	6,1%	12,6%	10,2%	4,2%	6,3%	9,9%	14,6%	
07/11/2019	10,0%	15,3%	6,3%	3,8%	2,5%	9,0%	15,6%	29,4%	27,0%	29,7%	31,6%	34,5%	28,3%	22,7%	18,9%	17,7%	11,8%	11,9%	14,1%	12,7%	15,7%	7,8%	11,4%	10,2%	
08/11/2019	10,8%	7,9%	3,2%	9,7%	15,3%	34,5%	35,2%	36,4%	33,4%	33,8%	38,5%	37,3%	32,0%	33,8%	22,3%	13,4%	12,1%	6,0%	7,7%	4,3%	4,1%	11,2%	12,1%	7,8%	
09/11/2019	10,9%	10,6%	3,8%	4,2%	2,3%	7,8%	21,6%	33,8%	29,4%	40,7%	37,8%	36,5%	23,9%	14,7%	9,9%	10,9%	5,1%	3,1%	0,0%	0,8%	0,0%	1,3%	5,4%	4,2%	
10/11/2019	1,4%	7,8%	7,2%	6,7%	5,9%	6,4%	11,6%	11,3%	6,2%	8,9%	13,8%	11,3%	6,9%	9,3%	10,9%	5,3%	10,3%	5,9%	0,2%	0,3%	7,1%	6,7%	6,2%	9,8%	
11/11/2019	8,9%	1,9%	3,6%	11,7%	3,8%	11,3%	22,2%	19,5%	13,2%	16,8%	11,7%	16,6%	11,9%	9,6%	7,7%	7,5%	2,6%	8,7%	10,8%	13,0%	7,2%	12,7%	12,8%	14,8%	
12/11/2019	17,3%	10,7%	13,2%	13,7%	17,9%	29,7%	27,1%	33,6%	35,3%	34,8%	34,2%	32,6%	28,2%	35,2%	26,6%	21,1%	13,2%	8,7%	9,5%	6,3%	7,8%	2,6%	13,0%	15,0%	
13/11/2019	11,8%	11,2%	8,0%	4,0%	6,9%	2,3%	16,9%	23,7%	24,9%	38,8%	33,9%	31,9%	16,6%	20,5%	16,9%	13,2%	20,5%	10,7%	7,3%	6,1%	7,0%	5,9%	13,5%	16,3%	
14/11/2019	4,4%	6,6%	13,3%	7,0%	15,2%	34,6%	31,3%	28,8%	34,1%	37,1%	35,6%	33,6%	28,1%	29,6%	28,5%	12,6%	4,8%	3,9%	14,9%	12,2%	11,1%	6,1%	10,2%	10,7%	
15/11/2019	12,5%	10,2%	7,7%	7,1%	5,1%	7,8%	13,4%	15,4%	19,2%	16,1%	26,4%	28,8%	19,8%	16,0%	13,5%	20,0%	8,8%	3,7%	11,5%	10,3%	11,0%	3,0%	13,6%	15,2%	
16/11/2019	10,6%	7,1%	5,5%	9,2%	18,7%	28,8%	28,3%	37,2%	30,5%	34,1%	33,2%	34,6%	25,3%	22,4%	26,7%	22,3%	7,4%	2,6%	5,0%	4,5%	0,7%	2,2%	1,9%	1,8%	
17/11/2019	1,5%	3,4%	2,7%	2,1%	2,9%	2,7%	2,8%	4,4%	4,7%	2,5%	4,1%	4,4%	4,2%	3,9%	4,8%	1,1%	3,7%	3,2%	2,3%	2,8%	1,4%	4,0%	10,5%	6,5%	
18/11/2019	7,9%	5,7%	7,8%	5,3%	7,2%	3,1%	12,4%	26,7%	30,4%	30,3%	37,8%	35,2%	28,3%	37,0%	16,7%	11,3%	10,2%	9,4%	3,5%	6,0%	15,5%	14,4%	7,5%	7,7%	
19/11/2019	7,4%	5,1%	1,1%	2,8%	15,7%	29,2%	28,4%	32,0%	34,2%	42,4%	43,6%	41,0%	37,9%	37,6%	26,0%	24,5%	3,6%	2,7%	5,7%	11,4%	8,9%	6,5%	7,4%	8,8%	
20/11/2019	8,1%	5,5%	3,5%	4,4%	0,3%	2,2%	15,4%	31,1%	29,0%	28,1%	39,1%	40,1%	31,9%	19,8%	18,0%	15,4%	6,4%	7,3%	9,2%	5,8%	3,3%	1,2%	4,0%	9,9%	
21/11/2019	13,1%	6,2%	7,2%	7,2%	11,9%	26,9%	33,1%	46,2%	41,4%	40,0%	43,7%	44,1%	38,0%	42,0%	24,6%	13,8%	3,9%	5,4%	8,4%	4,4%	4,9%	6,6%	7,9%	2,2%	
22/11/2019	2,6%	3,9%	4,3%	5,3%	4,7%	3,8%	20,2%	42,3%	43,8%	49,1%	42,3%	41,0%	35,1%	32,5%	10,8%	13,8%	6,5%	4,9%	4,4%	3,9%	2,8%	2,9%	5,9%	4,7%	
23/11/2019	4,6%	4,6%	1,5%	2,8%	11,6%	32,0%	27,9%	31,9%	30,7%	66,5%	71,4%	67,6%	69,8%	59,8%	36,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
24/11/2019	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,2%	4,7%	2,6%	16,2%	16,2%	24,8%
25/11/2019	2																								

Día/ Mes/Año	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	
16/12/2019	3,1%	8,8%	10,0%	9,3%	4,7%	3,7%	19,4%	27,9%	21,0%	32,2%	34,7%	32,1%	19,4%	23,2%	16,3%	14,0%	10,8%	5,4%	8,1%	10,0%	7,2%	8,5%	3,5%	14,6%	
17/12/2019	8,6%	4,4%	9,6%	11,2%	9,8%	2,9%	14,3%	15,1%	16,8%	27,5%	34,0%	31,7%	21,9%	26,8%	24,0%	21,5%	10,1%	2,5%	9,0%	6,8%	5,3%	2,5%	6,8%	13,2%	
18/12/2019	13,7%	4,5%	7,6%	4,2%	19,0%	20,4%	30,1%	33,7%	31,0%	31,9%	39,1%	42,5%	33,3%	30,7%	26,4%	14,4%	6,7%	4,4%	8,2%	5,5%	5,6%	9,2%	6,4%	11,1%	
19/12/2019	12,2%	6,7%	3,8%	3,5%	1,0%	1,8%	14,4%	22,5%	20,7%	28,6%	33,0%	25,3%	21,5%	19,5%	13,1%	9,0%	9,7%	9,6%	7,9%	4,8%	8,8%	3,8%	1,8%	8,9%	
20/12/2019	5,2%	2,7%	3,2%	5,8%	8,7%	24,4%	24,3%	27,2%	26,6%	30,7%	33,2%	35,5%	24,6%	27,8%	30,4%	21,6%	17,6%	15,1%	7,2%	10,1%	3,3%	2,9%	1,0%	10,8%	
21/12/2019	10,1%	4,0%	1,1%	0,5%	1,3%	5,2%	19,8%	26,9%	25,5%	27,3%	24,5%	31,2%	16,9%	20,5%	11,5%	7,0%	2,4%	5,5%	3,9%	0,7%	0,9%	1,1%	0,7%	2,0%	
22/12/2019	0,2%	1,1%	0,1%	1,2%	2,0%	2,5%	5,3%	6,0%	2,5%	2,1%	2,1%	3,0%	1,4%	0,3%	0,3%	0,6%	0,8%	1,0%	6,1%	12,7%	3,4%	1,9%	1,7%	7,5%	
23/12/2019	3,3%	12,2%	12,0%	5,0%	12,3%	21,0%	30,2%	35,3%	36,8%	35,8%	33,2%	33,1%	32,5%	33,2%	27,3%	20,9%	9,2%	3,8%	8,7%	5,5%	3,7%	2,1%	3,8%	1,9%	
24/12/2019	2,1%	5,3%	6,0%	1,4%	0,5%	1,6%	9,1%	12,8%	20,1%	21,2%	21,8%	17,5%	10,9%	2,9%	0,2%	3,7%	2,6%	0,5%	0,6%	1,9%	1,1%	0,1%	0,0%	0,0%	
25/12/2019	0,2%	1,5%	0,2%	0,3%	0,1%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	1,7%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,4%	0,9%	1,4%	0,0%	0,9%	0,1%	1,2%	2,0%	
26/12/2019	2,4%	1,0%	1,9%	1,6%	1,9%	0,8%	9,8%	13,5%	9,3%	12,8%	13,8%	14,7%	10,6%	12,4%	7,3%	9,7%	8,5%	6,5%	0,6%	0,1%	0,9%	0,0%	1,9%	2,7%	
27/12/2019	0,4%	1,0%	1,1%	0,4%	0,6%	0,5%	9,5%	20,6%	17,5%	18,8%	19,0%	17,6%	7,4%	16,2%	9,2%	3,6%	8,3%	5,3%	3,0%	2,5%	2,5%	3,4%	2,4%	2,9%	
28/12/2019	3,6%	2,3%	2,7%	2,3%	3,2%	3,8%	6,7%	13,5%	12,7%	9,9%	10,8%	11,8%	6,6%	7,7%	6,8%	3,8%	6,8%	5,1%	1,9%	2,8%	3,0%	3,0%	2,3%	3,4%	
29/12/2019	1,9%	2,1%	2,5%	4,2%	3,6%	2,5%	11,9%	9,3%	11,6%	7,9%	6,7%	4,0%	4,1%	4,0%	2,0%	0,4%	0,9%	3,8%	0,0%	0,0%	0,1%	3,6%	0,0%	2,3%	
30/12/2019	0,0%	0,5%	0,2%	0,3%	0,5%	0,3%	4,2%	2,8%	3,6%	8,4%	2,6%	2,3%	4,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	
31/12/2019	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	3,0%	0,0%	6,2%	1,1%	3,9%	1,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	
01/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,1%	0,2%	0,0%	0,9%	0,0%	0,6%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,5%	1,2%	0,4%	0,1%	0,0%	0,4%	0,0%	0,9%	
02/01/2020	2,8%	0,0%	2,7%	2,3%	0,4%	0,0%	1,5%	1,9%	1,0%	3,3%	1,9%	8,9%	12,6%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
03/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%	0,9%	5,7%	3,3%	2,1%	0,2%	1,2%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
04/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	1,2%	2,1%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
05/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
06/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,3%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
07/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	1,9%	10,3%	6,1%	4,3%	7,9%	9,2%	6,4%	6,8%	3,8%	2,4%	0,5%	1,9%	1,2%	1,2%	0,7%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	
08/01/2020	0,0%	0,1%	0,1%	1,2%	1,3%	2,7%	10,7%	17,4%	13,9%	6,9%	8,7%	11,4%	7,6%	11,0%	0,7%	0,3%	0,8%	3,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	
09/01/2020	0,0%	0,0%	0,5%	0,1%	0,0%	3,3%	9,3%	10,9%	11,1%	13,1%	25,4%	14,3%	15,0%	8,1%	0,2%	0,6%	0,0%	2,1%	5,2%	0,5%	2,9%	5,2%	7,2%	0,7%	
10/01/2020	3,3%	2,9%	1,9%	2,4%	14,0%	30,4%	26,4%	29,7%	28,7%	30,0%	30,0%	32,6%	33,5%	23,8%	1,3%	2,6%	4,2%	4,2%	6,0%	3,3%	2,9%	1,1%	0,3%	4,5%	
11/01/2020	2,6%	1,1%	1,2%	4,7%	2,7%	2,2%	10,6%	14,1%	16,0%	16,5%	17,2%	12,6%	16,7%	5,7%	1,8%	3,2%	2,4%	10,1%	6,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
12/01/2020	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	2,4%	8,1%	5,9%	0,2%	5,1%	5,3%	0,0%	0,0%	2,0%	0,0%	4,0%	1,4%	2,5%	3,7%	1,3%	10,4%	7,3%	
13/01/2020	7,0%	6,2%	6,3%	7,1%	10,9%	31,7%	30,8%	34,3%	31,7%	31,8%	30,0%	29,8%	33,3%	30,2%	4,1%	5,9%	3,7%	3,3%	0,9%	4,4%	1,4%	0,0%	2,8%	2,2%	
14/01/2020	9,0%	4,8%	0,0%	10,0%	6,7%	4,9%	13,2%	23,6%	20,7%	21,2%	23,7%	18,0%	13,1%	15,7%	9,5%	1,6%	4,8%	3,9%	0,0%	0,0%	11,4%	4,3%	3,7%	7,6%	
15/01/2020	9,5%	4,6%	0,2%	2,6%	16,2%	31,1%	30,8%	33,0%	31,3%	32,7%	29,3%	26,8%	28,5%	20,6%	11,3%	8,0%	8,4%	7,6%	10,3%	8,5%	2,7%	3,8%	5,5%	2,1%	
16/01/2020	2,3%	1,2%	4,6%	1,7%	2,9%	6,2%	25,4%	36,4%	33,6%	28,1%	35,7%	34,6%	21,3%	27,3%	16,6%	17,8%	3,4%	2,4%	5,9%	8,5%	4,2%	6,7%	4,7%	5,9%	
17/01/2020	5,4%	3,5%	1,8%	3,5%	9,8%	28,3%	30,4%	33,4%	31,3%	32,6%	32,6%	39,4%	33,9%	37,8%	14,6%	12,5%	8,1%	1,8%	7,9%	7,5%	9,6%	10,0%	5,5%	11,4%	
18/01/2020	7,8%	11,1%	8,7%	3,4%	1,6%	7,1%	14,5%	16,1%	14,8%	17,6%	20,4%	22,0%	19,3%	20,3%	9,5%	6,0%	1,4%	5,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	
19/01/2020	1,1%	0,0%	0,6%	0,0%	2,0%	0,0%	5,0%	1,2%	0,8%	0,5%	0,1%	0,3%	0,3%	0,1%	0,2%	1,5%	1,9%	4,1%	4,3%	5,7%	4,6%	7,9%	11,4%	4,8%	
20/01/2020	13,9%	6,1%	4,1%	10,5%	17,8%	33,7%	27,8%	26,2%	24,9%	27,6%	31,8%	29,4%	28,8%	20,7%	8,1%	6,2%	6,4%	4,9%	1,5%	11,7%	12,3%	12,0%	6,1%	11,4%	9,4%
21/01/2020	10,2%	12,4%	11,2%	11,4%	4,1%	4,1%	13,5%	16,1%	17,8%	15,5%	23,6%	23,3%	17,9%	15,4%	10,1%	8,7%	4,9%	1,8%	8,1%	15,0%	14,0%	2,1%	6,7%	10,0%	
22/01/2020	14,5%	11,8%	9,6%	6,2%	10,8%	31,2%	27,1%	28,2%	25,2%	27,2%	25,8%	24,8%	27,6%	19,7%	5,1%	7,6%	2,8%	5,9%	9,6%	13,3%	10,1%	5,9%	11,6%	7,3%	
23/01/2020	16,3%	6,6%	11,2%	10,6%	4,4%	3,1%	13,7%	9,5%	15,3%	21,5%	23,7%	21,6%	14,1%	16,8%	12,3%	7,0%	3,0%	9,5%	3,7%	10,3%	7,6%	6,3%	10,1%	14,0%	
24/01/2020	9,4%	11,2%	13,4%	8,1%	13,8%	19,5%	30,3%	27,0%	23,3%	26,3%	27,3%	26,8%	26,8%	14,9%	9,4%	6,3%	4,6%	1,8%	4,4%	10,8%	12,8%	11,0%	8,2%	5,7%	
25/01/2020	7,4%	13,6%	14,1%	4,2%	3,7%	1,7%	11,8%	12,5%	19,7%	15,0%	13,7%	15,5%	15,0%	10,7%	3,1%	5,8%	0,7%	0,4%	0,0%	0,4%	2,8%	1,0%	0,5%	0,9%	
26/01/2020	0,3%	0,5%	0,3%	0,3%	0,7%	0,6%	1,2%	1,5%	0,9%	1,3%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	2,3%	2,5%	0,4%	1,0%	3,6%	3,7%	5,0%	
27/01/2020	6,0%	5,1%	3,1%	4,3%	17,6%	28,4%	26,6%	33,0%	33,0%	32,5%	37,9%	40,6%	38,2%	24,2%	12,5%	7,3%	5,6%	5,8%	8,0%	12,3%	3,3%	3,1%	8,8%	10,3%	
28/01/2020	4,0%	4,8%	3,3%	1,6%	2,8%	1,5%	14,1%	20,0%	25,8%	24,0%	31,5%	35,2%	25,9%	31,7%	10,9%	13,5%	13,6%	9,4%	4,2%	10,0%	6,5%	5,2%	5,4%	5,9%	
29/01/2020	8,6%	4,0%	1,7%	5,9%	23,1%	32,0%	28,7%	41,1%	37,1%	34,3%	36,0%	40,1%	35,9%	30,8%	11,8%	8,5%	11,4%	4,6%	4,3%	8,0%	9,0%	6,6%	1,9%	6,9%	
30/01/2020	4,7%	1,1%	2,9%	5,7%	1,1%	1,4%	18,1%	28,6%	36,7%	47,3%	31,4%	42,7%	28,1%	39,3%	20,2%	15,3%	8,7%	8,0%	7,8%	7,4%	9,0%	7,8%	4,7%	11,8%	
31/01/2020	5,3%	4,1%	1,3%	7,9%	14,6%	23,2%	28,1%	25,6%	24,5%	28,1%	29,3%	27,5%	31,6%	13,7%	11,9%	12,6%	6,0%	2,9%	7,3%	4,9%	8,6%	3,0%	2,7%	6,0%	
01/02/2020	3,4%	2,4%	3,1%	1,7%	3,1%	3,8%	15,6%	36,5%	44,4%	43,8%	46,9%	45,8%	35,9%	35,2%	4,3%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,3%	0,8%	0,4%	
02/02/2020	0,7%	0,1%	1,4%	0,7%	0,6%	1,1%	1,7%	1,2%	1,0%	1,3%	1,9%	1,5%	1,0%	0,9%	0,5%	0,4%	0,0%	0,4%	1,1%	6,0%	2,0%	2,0%	4,0%	4,6%	
03/02/2020	7,2%	7,9%	4,9%	9,1%	15,8%	25,2%	26,3%	27,7%	34,6%	39,2%	40,8%	40,0%	30,8%	31,0%	13,5%	11,4%	11,0%	13,6%	10,8%	12,6%	6,4%	6,6%	10,7%	11,5%	
04/02/2020	12,2%	8,8%	7,2%	8,9%	6,1%	2,8%	12,6%	17,9%	24,8%	27,3%	33,4%	26,1%	16,9%	19,9%	10,7%	7,4%	6,4%	5,5%	7,5%	8,5%	7,9%	7,9%	4,2%	2,2%	
05/02/2020	2,6%	2,2%	3,3%	12,1%	17,8%	30,4%	29,0%	28,9%	29,4%	27,6%	29,0%	27,4%	29,0%	24,3%	13,2%	10,1%	10,0%	9,6%	6,9%	9,2%	5,3%	5,0%	10,1%	9,6%	
06/02/2020	10,2%	8,3%	9,4%	4,4%	6,2%	8,0%	14,1%	36,3%	38,3%	50,6%	50,7%	39,9%	24,7%	39,4%	26,2%	18,0%	14,0%	5,8%	4,4%	11,0%	12,5%	3,8%	8,3%	6,2%	
07/02/2020	6,3%	11,4%	5,3%	8,1%	15,2%	31,9%	28,4%	31,4%	32,3%	32,6%	30,3%	29,2%	28,7%	24,1%	9,6%	9,0%	8,3%	4,0%	7,5%	9,1%	4,6%	2,0%	9,1%	8,4%	
08/02/2020	7,9%	7,1%	7,3%	6,0%	2,3%	4,5%	8,6%	26,9%	34,2%	28,6%	29,7%	31,1%	29,5%	16,7%	8,0%	0,3%	1,3%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%	0,3%	0,1%	
09/02/2020	0,0%																								

Del periodo analizado es posible concluir que:

- De manera global, el rango horario de mayor influencia es el comprendido entre las 7:00 am y las 3:00 pm, el cual coincide con el turno de trabajo más congestionado, por tanto, de mayor operación de maquinaria.
- Por fuera de la zona horaria de influencia, en general, el porcentaje de consumo reactivo se mantiene en una zona de muy buen desempeño entre el 0-15%. Durante este rango sólo opera maquinaria CNC y algunos tornos convencionales.
- Los domingos, días en los cuales sólo operan los tornos CNC, siempre se mantienen en un balance de consumo óptimo.
- El rango cronológico de menor porcentaje de reactivos se encuentra entre el 25 de diciembre y el 9 de enero, periodo correspondiente al receso por vacaciones.
- Cada día por medio la zona horaria de riesgo se manifiesta con mayor intensidad y duración, esto coincide con los días de fundición y consecuentemente con el alto número de motores accionados para los procesos de centrifugado.
- El periodo histórico de mayor consumo reactivo se encuentra entre el 23 de octubre y el 9 de diciembre, con un máximo de 97.7% el 27 de octubre a las 8:00 am.
- El periodo de consumo crítico debe ser evaluado con mayor detenimiento junto al departamento de producción, debido a que no existe ningún registro de mantenimiento que reporte algún daño eléctrico en esas fechas.
- Se establece la necesidad de inspeccionar las líneas de alta tensión en la subestación y el estado de los bancos de condensadores, en especial de la zona de fundición, para poder establecer un plan de mitigación de consumo reactivo.

9.4.3 Inspección eléctrica subestación, mecanizado y fundición

Tras el análisis de consumos energéticos reactivos, se decide proceder con una evaluación de la red de alta tensión con que cuenta Industrias LAVCO, esta se compone principalmente de una subestación con dos transformadores de 150 kVA y 112.5 kVA, adicionalmente cada uno cuenta con un banco de condensadores, en donde se prevé reside el problema, debido al carácter inductivo de las cargas reactivas reportadas y el tipo de maquinaria que se opera.

Con el personal técnico eléctrico propio de la empresa se procede con una inspección visual del tablero de distribución y los bancos de condensadores, en donde se evidencia un condensador y un contactor quemados, posiblemente debido a un desbalance de cargas en el diseño del sistema.

Al no disponer de personal especializado en el área de alta tensión, se cuenta con el respaldo de la empresa ELYCON S.A, a la cual se acompaña durante el proceso de estudio de todo el sistema eléctrico, en busca de fallas y sus posibles causas según la normativa vigente RETIE, RETILAP, norma ESSA y NTC-2050. La inspección en compañía del personal experto se inició en el sistema de acometida y subestación, ver Figura 30, donde se encuentran los transformadores, para posteriormente examinar cada uno de los tableros de distribución al interior de la planta, ver Figura 31.

	<p>GRUPO ELECTROGENO 313 KVA</p> <p>NIVEL DE TENSIÓN: 1.</p> <p>TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO: 0,22 KV.</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE LA SUBESTACIÓN DEBEN ESTAR SEPARADOS DE LA PLANTA DE EMERGENCIA POR UN MURO O BARRERA QUE IMPIDA EL ACERCAMIENTO DE PERSONAS NO CALIFICADAS A ELEMENTOS ENERGIZADOS. • HACER LIMPIEZA. • PRENDER PLANTA ELÉCTRICA 1 VEZ POR SEMANA PARA VERIFICAR FUNCIONAMIENTO. • VERIFICAR NIVEL DE GASOLINA. • VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE BATERIAS.
	<p>TABLERO BANCO CONDENSADORES 75 KVA - CONTACTOR</p> <p>NIVEL DE TENSIÓN: 1.</p> <p>TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO: 0,22 KV.</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • INSTALAR 1 CONTACTOR POR CADA PASO. • SE DEBE CAMBIAR CONTACTOR AVERIADO.
	<p>CAJAS CORTACIRCUITO</p> <p>NIVEL DE TENSIÓN: 2.</p> <p>TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO: 13,2 KV.</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SE DEBEN CAMBIAR CAJAS CORTACIRCUITOS POR CAJAS CON CÁMARAS APAGACHISPAS. • SE DEBE PODAR ARBOL EN CERCANIAS A LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

Figura 30 Inspección en subestación. Fuente: ELYCON S.A.S.

Se determinó la importancia de mantenimiento preventivo y correctivo en los transformadores, adicionalmente el cambio de protecciones, condensadores, rebalanceo de cargas en el sistema, instalación de barrajes faltantes y torque de conectores para disminuir la posibilidad de puntos calientes. Es obligatorio la instalación en la acometida de cámaras apaga chispas según la normativa.

Adicionalmente, casi la totalidad de tableros de distribución deben ser limpiados, modificados y etiquetados según norma, es necesaria la actualización de planos eléctricos (diagrama unifilar) de toda la planta, establecida por áreas con sus respectivos tableros y en formato editable para su actualización. En el momento se cuenta con un diagrama unifilar del año 2008 que no contempla la instalación de nuevas máquinas de gran consumo, como los tornos CNC, así como la ampliación del sistema con más tableros de distribución.

Tras la revisión al interior de la planta se propone la reubicación del sistema de condensadores de fundición a la parte externa de la planta, para poder instalar correctamente un tablero con protecciones a tierra completas, que cumpla la normativa, esté bien refrigerado y permanezca lejos de la presencia habitual de personas, ya que actualmente se encuentra cerca a la entrada de la fundición, en medio de zonas comunes.

	<p>TABLERO BAJA TENSIÓN 4 - CABLEADO</p> <p>NIVEL DE TENSIÓN: 1.</p> <p>TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO: 0,22 KV.</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SE DEBE INSTALAR CANALIZACIÓN APROPIADA PARA EL CABLEADO. • SE DEBE IDENTIFICAR TUBERIA CON FRANJAS NARANJAS.
	<p>TABLERO BAJA TENSIÓN SECCIÓN FUNDICIÓN – TOTALIZADORES PRINCIPALES</p> <p>NIVEL DE TENSIÓN: 1.</p> <p>TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO: 0,22 KV.</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • SE DEBE ORDENAR CABLEADO. • SE DEBE REVISAR COORDINACIÓN DE PROTECCIONES. • SE DEBE IDENTIFICAR CABLEADO CON CINTAS DE COLORES. • FALTA DIAGRAMA UNIFILAR EN TABLERO. • HACER LIMPIEZA. • SE DEBE IDENTIFICAR TABLERO. • NO SE PUEDEN DERIVAR DOS O MÁS PUNTOS DESDE UN TORNILLO. • SE DEBE INSTALAR BARRAJE DE PUESTA A TIERRA.
	<p>TABLERO BANCO CONDENSADORES – RELE</p> <p>NIVEL DE TENSIÓN: 1.</p> <p>TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO: 0,22 KV.</p> <p>OBSERVACIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • FACTOR DE POTENCIA DEBE ESTAR LO MÁS CERCANO A 1,0. • FALTA INSTALAR 1 PASO PARA COMPENSAR LA ENERGIA REACTIVA INDUCTIVA. • SE RECOMIENDA CAMBIAR RELE.

Figura 31 Reporte de inspección en mecanizado y fundición. Fuente: Autoría propia.

como la digitadora trabajen en una misma base de datos, la cual será alimentada diariamente con los reportes de actividad entregados por los técnicos y la información será verificada por el ingeniero encargado de mantenimiento, el proceso propuesto se muestra en la Figura 33.

De esta manera se unen esfuerzos para el trabajo en conjunto en una sola base de datos, se establece un filtro de verificación de la información registrada en el formato digital y se realiza el seguimiento de las ordenes de trabajo desde su generación, en estado abierta, pasando por su realización, hasta cerrar la misma al culminar la labor con la debida validación presencial.

Además, se sigue cumpliendo a cabalidad con los requerimientos de la empresa, pero sin duplicar la recolección de datos. Los ingresos y salidas de información son numerados con el fin de entender en tránsito de los diferentes formatos o informes.

Un factor importante que caracteriza al reporte diario es que la forma en que se describe la información carece de profundidad, pues la información técnica, normalmente, se entrega en la solicitud de mantenimiento, por lo cual se propone que de manera inversa la información técnica y específica de cada labor realizada se registre en el reporte individual diariamente, para que sea ingresado a la base de datos y así en la solicitud sólo exista la información necesaria para validar que el registro físico esté acorde a lo reportado cada día.

Se recomienda que todas las solicitudes generadas fuera de la dirección de mantenimiento, sean centralizadas allí con el fin de hacer programación y seguimiento de las mismas, según el flujo de trabajo propuesto.

Por último, se recomienda que las necesidades de mantenimiento reportadas desde otras áreas sean referidas por medio escrito o electrónico donde se especifique claramente el problema, el grado de urgencia y en lo posible un registro fotográfico que facilite el proceso de identificación por parte del personal de mantenimiento.

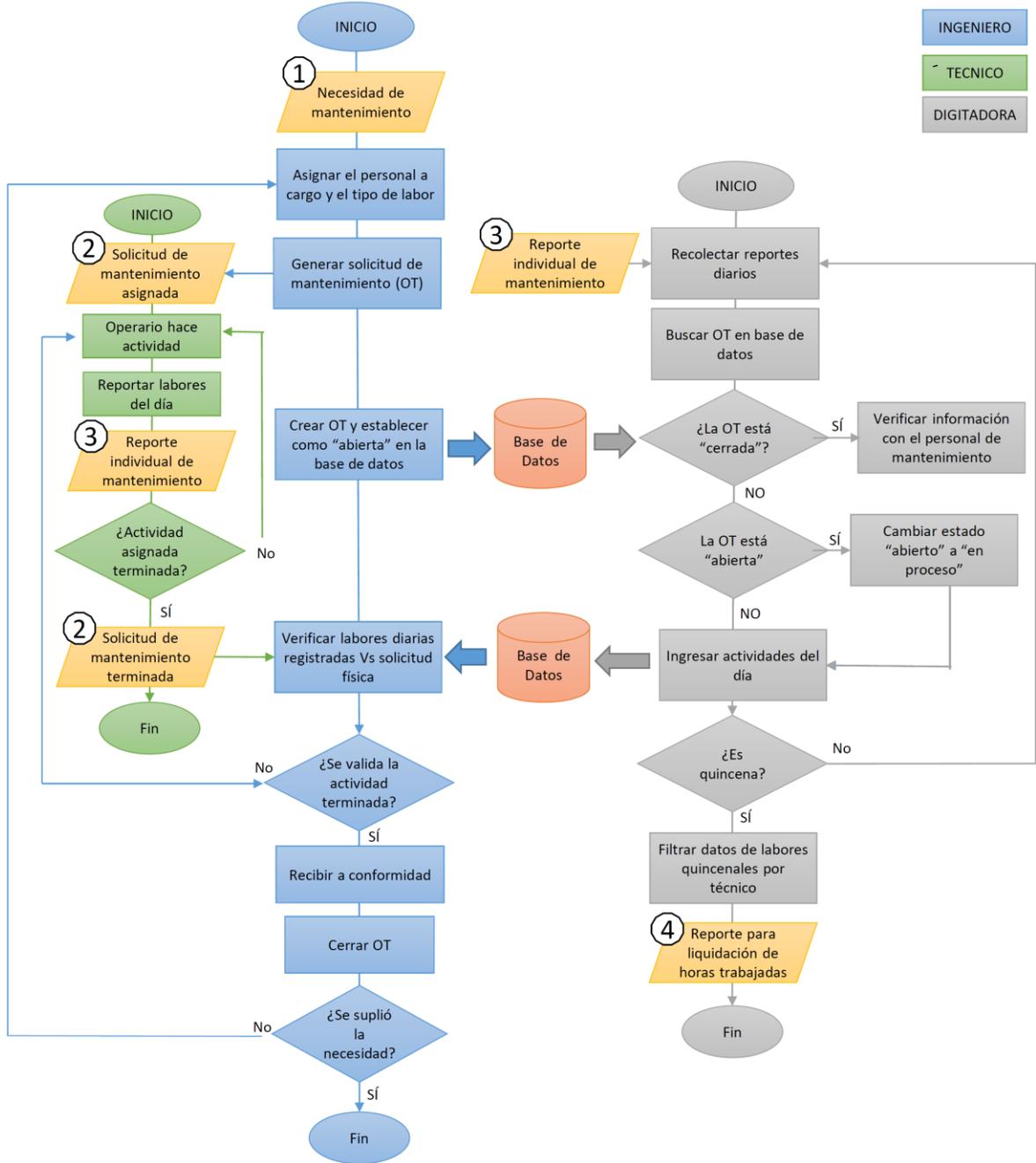


Figura 33 Diagrama de proceso - Gestión de información según cargo. Fuente: Autoría propia.

10 DISEÑO CONCEPTUAL DE QUEMADOR

Actualmente industrias LAVCO, posee un problema de gestión térmica para el precalentamiento de los moldes para centrifugado, esto se debe a que los moldes metálicos, de gran volumen, son calentados por medio de un quemador de gas tipo flauta que funciona por efecto venturi y calienta desde la parte exterior hacia.

Este sistema resulta altamente ineficiente, porque el objetivo del calentamiento es aumentar la temperatura de la cara interna de la “coquilla” a 300 °C para poder fundir la primera colada. Debido a esto, la temperatura externa, si bien está altamente relacionada con la transferencia de calor en el molde, no es el objetivo principal que se busca con el calentamiento.

El segundo inconveniente del sistema corresponde a que funciona usando solamente efecto venturi, esto resulta en una combustión incompleta, lo cual se refleja en las tonalidades amarillas de llama normalmente alcanzada por este tipo de quemadores.

Por ello se busca proponer un sistema que permita hacer un calentamiento desde el interior del molde hacia el exterior y adicionalmente que el sistema sea sobrealimentado para poder lograr una combustión completa. Para ello se realiza una búsqueda de sistemas comerciales e industriales usados para el calentamiento con gas, evidenciando que los quemadores radiantes son una opción viable, estos son ampliamente usados en calderas de condensación. (Worgas Bruciatori S.R.L.)

Estos quemadores permiten calentar de forma cilíndrica, cubriendo una amplia área de radiación y los procesos de combustión son altamente eficientes, por ello son también llamados, quemadores de ultra bajo NOx. Este tipo de quemadores se componen de un inyector para el gas y el aire en donde se realiza una pre mezcla, un deflector que aumente la turbulencia de los fluidos, mejorando así la mezcla y un distribuidor que permita el calentamiento uniforme a través de micro perforaciones. (Aihua, Penghua, & Hong, 2020)

Se realiza un diseño conceptual, ver Figura 34, el cual se adapta al requerimiento de moldes para camisas de motor, que abarcan diámetros de 70 a 218 mm de diámetro interior y un rango de 240-610 mm de longitud total. En la Figura 35 se muestra el montaje final del quemador al interior del molde.

Este sistema requiere una fase posterior de ingeniería de detalle en la cual se establezca el costo efectivo de la fabricación de los mismos en gran cantidad, para la producción aproximada de 40 unidades, así como la selección, por costo, de la alimentación entre aire comprimido o soplores industriales. Adicionalmente, se recomienda el uso de simulación computacional de fluidos (CFD) para la estimar de manera previa la eficiencia de combustión del prototipo y así poder optimizar parámetros de diseño como el tamaño de perforación del distribuidor, prestablecido en 1 mm.



Figura 34 Diseño conceptual de quemador cilíndrico de gas. Fuente: Autoría propia.

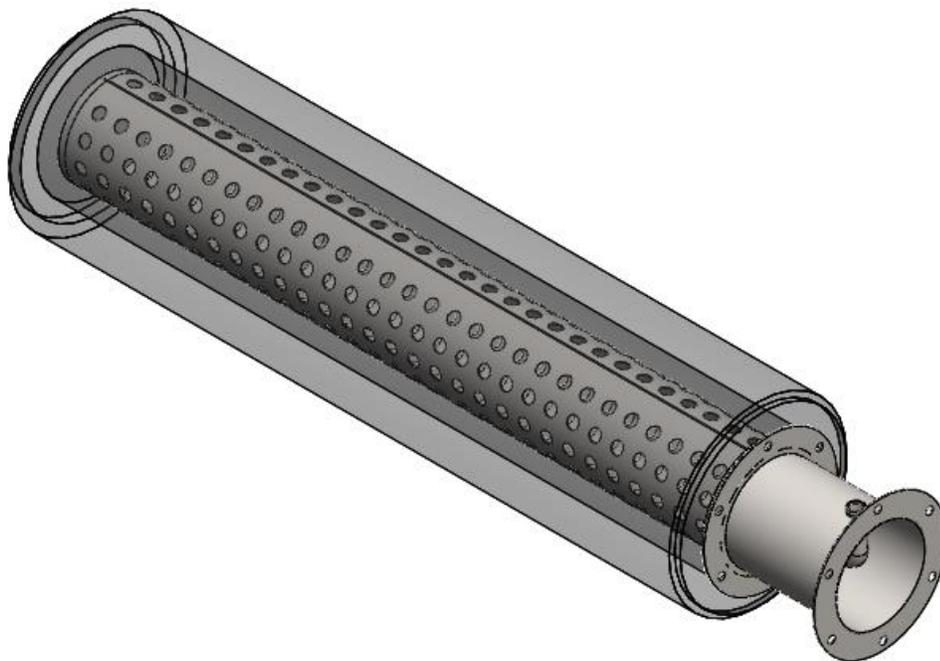


Figura 35 Ensamble de quemador conceptual dentro del molde. Fuente: Autoría propia.

11 CONCLUSIONES

- Se logró compilar y depurar la mayor cantidad posible de información de los históricos de mantenimiento, con el fin de establecer bases estadísticas para un análisis de criticidad basado en datos reales.
- Se evidenciaron fallas en la forma de almacenamiento de información, ante la ausencia de una base de datos normalizada que permita acceder de manera rápida, confiable y ordenada a los datos históricos de mantenimiento.
- Se comparó la matriz de criticidad establecida previamente y se determina que esta necesita ser siempre actualizada con datos recientes del último año, además, también es primordial una comparación con los históricos totales, para evaluar la criticidad real de los activos al momento de la planeación anual de mantenimientos, según el deterioro de la máquina a lo largo del tiempo.
- Se determinaron, con base en los manuales de fabricante y documentación de practicantes anteriores, las labores preventivas más importantes para garantizar la vida del activo y se evidencia que la correcta documentación y difusión de las mismas es clave para la prolongación de la estrategia a lo largo del tiempo.
- Industrias LAVCO requiere inversión en la actualización tecnológica en sus procesos de gestión de información del área de mantenimiento, a través de herramientas como bases de datos relacionales o sistemas completos CMM (Computerized maintenance management) y capacitación del personal técnico o administrativo para la comprensión de las mismas.

12 RECOMENDACIONES

Fase 1.1

- Se recomienda hacer una revisión periódica del archivo físico, en busca de registros faltantes en las nuevas numeraciones de talonario que sean archivadas.
- Se recomienda la digitación de las solicitudes ejecutadas por parte de personal encargado de esas labores específicas, con el fin de optimizar la productividad de la dirección de mantenimiento en actividades orientadas a la programación, gestión y supervisión.
- Se recomienda realizar un contraste entre los registros físicos y los digitales, a cargo de un practicante adicional de 80 horas, con el fin de verificar que todos los archivos físicos históricos estén digitalizados.

Fase 1.2

- Toda solicitud siempre debe incluir el código de máquina al ser registrada y no hacerlo por nombres particulares o dejar vacío.
- Es necesario clasificar claramente la especialidad técnica de la solicitud entre neumática, hidráulica, eléctrica o mecánica. Se sugiere que esto se haga por cada actividad desarrollada y no por toda la solicitud.
- Se sugiere que la fabricación de herramienta, de carácter consumible e intercambiable, para tornos convencionales (interior, exterior, corte) sea generada y registrada a nombre del almacén (en el ítem “maquina”), así sólo aquellas herramientas no consumibles y que no pertenecen a una máquina en específico deberán ser clasificadas como “convencionales” en la referencia de máquina.
- Los carros de viruta, anillos, tubos brutos y retorno deben ser clasificados según su tipo, aunque sin diferenciarse por unidad ya que todos son iguales e intercambiables.

Actualmente los códigos F092 (CARROS DE BRIQUETAS) y F062 (CARRO DE TRANSPORTE PARA MATERIAL FUNDIDO) están creados, pero no son implementados.

-Es necesario auditar las labores de inventario de activos, ya que algunos códigos no corresponden con la realidad y deben generarse los mismos para elementos que no los poseen, como el bebedero, o establecer a que área específica a la cual se debe adjuntar el equipo.

-Se debe aclarar y divulgar ampliamente un mismo término para los hornos, los cuales actualmente pueden ser referenciados como “uno, dos, tres”, “grande, pequeño, mediano” o “viejo, nuevo”, sin que se tenga claridad cuál es cada uno, ni su código.

-Es primordial hacer un plano con las ubicaciones y códigos de máquina, para la difusión y conocimiento de los mismos al generar solicitudes de mantenimiento por los diferentes líderes de área.

Fase 1.3

-Es necesario establecer que si las herramientas o consumibles no fueran fabricadas internamente estas serían responsabilidad del almacén, por lo cual la gran mayoría de herramientas fabricadas (intercambiables o de consumo) deben ser realizadas a nombre de “almacén”, ya que es quien se encarga de controlar el uso y distribución de las mismas en los momentos necesarios.

-Se recomienda hacer un análisis posterior, con una base de datos normalizada, que cuantifique la cantidad de horas invertidas por equipo y por tipo para determinar cuáles equipos serían proyectados para modificaciones de mejora, ya que con la estructuración de datos disponible no es posible hacer este análisis de manera eficiente.

- Se recomienda ampliar los esfuerzos en estrategias preventivas e invertir en las mismas para disminuir drásticamente el porcentaje de labores de mantenimiento correctivas, que actualmente se centra en 48% del total. Así mismo, es necesario reforzar las habilidades mecánicas de todos los técnicos para atender la mayoría de imprevistos de esa especialidad, en el menor tiempo posible.

Fase 2

-Se sugiere la traducción de los manuales en formato digital de edición o lectura, esto permitiría la búsqueda ágil mediante palabras clave ante un imprevisto, además ampliaría la utilidad de los mismos al ser entendibles por todo el personal y no sólo por quienes sean bilingües.

Fase 3

-Se recomienda ampliar la estrategia preventiva progresivamente hasta alcanzar la totalidad de equipos críticos, de ser necesario dar una capacitación a todo el personal técnico sobre la misma y dejar documentación clara, además de un instructivo, para que estas estrategias no se pierdan ante la rotación de cargos en la dirección de mantenimiento.

-Es necesario tener un sistema de alertas y personal que permitan realizar un estudio de causa raíz ante una acción correctiva repetitiva en los subsistemas críticos, de esta forma se pueden optimizar las frecuencias del plan preventivo.

-Se recomienda la implementación del plan de mantenimiento preventivo propuesto a la mayor brevedad posible, además, tras ser implementado, se sugiere iniciar el monitoreo de condición de los subsistemas, mediante tomas de datos térmicos, eléctricos o modales.

13 BIBLIOGRAFÍA

- Aihua, D., Penghua, Q., & Hong, L. (2020). Design and optimization of distribution structure of fully premixed surface. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
- Ben-Daya, M. (2016). *Introduction to maintenance engineering*. West Sussex: Wiley.
- Budai, G. (2008). Maintenance and Production: A Review of Planning Models. En K. A, *Complex System Maintenance Handbook* (págs. 321-344). London: Springer.
- Crespo, A. (2007). Maintenance Management Characterization: Process, Framework and Supporting Pillars. En A. Crespo, *The Maintenance Management Framework*. London: Springer.
- Daewoo Heavy Industries LTD. (s.f.). *PUMA 350M / 350LM CNC Turning Center Instruction Manual - Maintenance and Technical Documents*.
- DIN German Institute for Standardization. (2012). *DIN 31051 - Fundamentals of Maintenance*. Berlín: German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung).
- Doosan Infracore Co Ltd. (s.f.). *DOOSAN LYNX 300 Instruction manual - Maintenance and Technical Documents*.
- Doosan Infracore Co.Ltd. (s.f.). *DOOSAN PUMA 400L Instruction Manual - Specifications & Maintenance*.
- Duffuaa, S. O. (2004). Turnaround maintenance in petrochemical industry: practices and suggested. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 184-190.
- European Committee for Standardization - CEN. (2010). *Maintenance — Maintenance Terminology*. Bruselas.
- LAVCO S.A.S. (2019). *Industrias LAVCO S.A.S*. Obtenido de <http://lavco.com.co/>
- Leadwell CNC Machines Mfg. (2002). *LEADWELL LTC 20B Instruction Manual*.
- Microsoft. (s.f.). *Database design basics*. Obtenido de SUPPORT OFFICE: <https://support.office.com/en-us/article/database-design-basics-eb2159cf-1e30-401a-8084-bd4f9c9ca1f5>
- Microsoft. (s.f.). *Using Access or Excel to manage your data*. Obtenido de SUPPORT OFFICE: <https://support.office.com/en-us/article/using-access-or-excel-to-manage-your-data-09576147-47d1-4c6f-9312-e825227fcaea>
- PROCOLOMBIA. (2019). *PROCOLOMBIA*. Obtenido de <https://catalogo.procolombia.co/es/industrias-luis-armando-vesga-y-compania-ltda-1145>

- Rodriguez, A., & Parra, D. (2014). *Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM II) para máquinas rectificadoras sin centros (M017 y M018) en Industrias LAVCO Ltda.*
- Straub. (2012). Maintenance and Repair. En S. Smith, *International Encyclopedia of Housing and Home* (págs. 186-194). Oxford: Elsevier.
- Worgas Bruciatori S.R.L. (s.f.). *THE APPLICATION OF RADIANT BURNERS IN THE GAS HEATING INDUSTRY*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/266439980_THE_APPLICATION_OF_RADIANT_BURNERS_IN_THE_GAS_HEATING_INDUSTRY