

ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL PARQUE DE MAQUINARIA
DE LA EMPRESA AVE COLOMBIANA SAS EN ZIPAQUIRÁ

DANIEL FELIPE BERNAL BEJARANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL PARQUE DE MAQUINARIA
DE LA EMPRESA AVE COLOMBIANA SAS EN ZIPAQUIRÁ

DANIEL FELIPE BERNAL BEJARANO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

DIRECTOR: Carlos Alejandro Pérez Lasso

Ingeniero Mecánico

M.Sc. Diseño Mecánico Asistido por Computador

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	11
1.1.CONTEXTO INDUSTRIAL.....	11
1.1.1. Sobre Ave Colombiana SAS.....	11
1.1.2. Sobre la fábrica de producción.....	13
1.1.3. Sobre el proceso productivo.....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.3.1 Objetivo General.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	24
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO.....	25
2. MARCO TEÓRICO.....	27
3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y MINERÍA DE DATOS.....	30
3.1 INVENTARIO DE EQUIPOS.....	30
3.1.1 Revisión de bases de datos.....	30
3.1.2. Revisión física de equipos.....	35
4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	37
4.1 SCREENING INICIAL.....	38
4.2 DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	40
4.3 METODOLOGÍA DE PONDERACIÓN.....	41
4.4. REUNIÓN CON PERSONAL DE PLANTA EXPERTO.....	45

4.5 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	47
4.6 JERARQUIZACIÓN.....	53
5. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	61
5.1 INYECTORA BIRAGHI MONZA No. 3.....	62
5.1.1 Fallas asociadas a sistemas eléctricos.....	64
5.1.2 Fallas asociadas a sistema hidráulico.....	66
5.2 REMACHADOR NEUMÁTICO No. 1.....	69
5.2.1 Falla por fractura del tornillo limitador.....	71
5.2.2 Falla por accionamiento inesperado del cilindro neumático.....	73
5.3 ROSCADORA VIGEL No.2.....	76
5.4 TROQUELADORA BROMGERG No. 2.....	81
5.5. EQUIPO DE SOLDADURA DE PUNTO No. 1.....	84
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
6.1 CONCLUSIONES.....	87
6.2 RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89
ANEXOS.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de consulta en base de datos para el equipo Maquina Empacadora marca Schib número 1.....	31
Tabla 2. Resultados de consolidación de código y descripción para la Maquina Empacadora marca Schib número 1.....	33
Tabla 3. Resultados de consolidación de código y descripción para la Maquina Empacadora marca Schib número 1.....	34
Tabla 4. Resumen de inventario realizado por cada sección o línea productiva.....	36
Tabla 5. Resumen de equipos descartados del análisis de criticidad luego de realizar el screening inicial.....	39
Tabla 6. Criterios de evaluación de criticidad por fallas.....	42
Tabla 7. Criterios de evaluación por frecuencia de falla.....	42
Tabla 8. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Almacén.....	47
Tabla 9. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Empaque.....	47
Tabla 10. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Rebaba.....	47
Tabla 11. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Ensamble.....	48
Tabla 12. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Inyección.....	49
Tabla 13. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Roscadoras.....	50
Tabla 14. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Tableros.....	50
Tabla 15. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Taller.....	51
Tabla 16. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Tornos.....	51
Tabla 17. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Troquelado.....	52
Tabla 18. Jerarquización de equipos de la sección Almacén.....	53
Tabla 19. Jerarquización de equipos de la sección Empaque.....	53
Tabla 20. Jerarquización de equipos de la sección Ensamble.....	54
Tabla 21. Jerarquización de equipos de la sección Inyección.....	55
Tabla 22. Jerarquización de equipos de la sección Rebaba.....	56
Tabla 23. Jerarquización de equipos de la sección Roscadoras.....	57
Tabla 24. Jerarquización de equipos de la sección Tornos.....	57

Tabla 25. Jerarquización de equipos de la sección Troquelado.....	57
Tabla 26. Jerarquización de equipos de la sección Tableros.....	58
Tabla 27. Jerarquización de equipos de la sección Taller.....	59
Tabla 28. Resumen de equipos críticos.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestra de productos de AVE Colombiana SAS.....	12
Figura 2. Comparativo para interruptor sencillos conmutable.....	14
Figura 3. Ejemplo de máquina inyectora tipo horizontal utilizada en el proceso de transformación de plástico.....	17
Figura 4. Ejemplo de máquina empacadora tipo horizontal o flow pack, utilizada en la línea de empaque.....	20
Figura 5. Tablero eléctrico monofásico de 3 circuitos producido por AVE Colombiana SAS.....	21
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso productivo y procesos de apoyo relacionados.....	22
Figura 7. Etiqueta de codificación para la máquina Isla de Ensamble No. 12 de la sección de Ensamble, bajo los nuevos lineamientos de codificación de equipos.....	36
Figura 8. Matriz de criticidad.....	44
Figura 9. Inyectora Biraghi Monza 3.....	62
Figura 10. Esferas de intervención en mantenimiento preventivo.....	64
Figura 11. Válvulas proporcionales del sistema de unidad de potencia de la inyectora 11I03.....	68
Figura 12. Remachador neumático No. 1.....	70
Figura 13. Diferencia morfológica y metalográfica de las fracturas dúctil (superior) y frágil.....	72
Figura 14. Fragmento de la ficha técnica del acero AISI D2.....	74
Figura 15. Sensor capacitivo de proximidad propuesto para la actualización operativa del remachador neumático.....	75
Figura 16. Roscadora Vigel No. 2.....	77
Figura 17. Piñón transductor de movimiento entre el motor principal y la sierra de ranurado con evidencia de desgaste y picaduras.....	78
Figura 18. Sierra de ranurado con marcas de desgaste excesivo en sus dientes.....	79
Figura 19. Troqueladora Bromberg 2.....	82
Figura 20. Equipo de soldadura de punto.....	84

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL PARQUE DE MAQUINARIA DE LA EMPRESA AVE COLOMBIANA SAS EN ZIPAQUIRÁ¹

AUTOR:

DANIEL FELIPE BERNAL BEJARANO²

PALABRAS CLAVE:

INDUSTRIA, ARTÍCULOS ELÉCTRICOS, MANTENIMIENTO PREVENTIVO, ANÁLISIS DE CRITICIDAD, FRECUENCIA DE FALLA, MODIFICACIONES DE DISEÑO, SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.

CONTENIDO:

Esta monografía se desarrolló con el propósito de actualizar el programa de mantenimiento preventivo y diseño de ingeniería del parque de maquinaria de una planta de producción de artículos eléctricos de baja tensión de la ciudad de Zipaquirá. En consideración de la necesidad de la industria moderna de seguir métodos de gestión que apunten a procesos de mejora continua para garantizar su capacidad competitiva, se seleccionó el método de análisis de criticidad de equipos con diferentes variables cuantitativas teniendo en cuenta como común denominador la frecuencia de falla promedio de los mismos.

El análisis inició con una revisión de los históricos de fallas y actividades de mantenimiento, dando paso a la creación de un sistema de nomenclatura para unificar los códigos de máquina y por ende los registros de las bases de datos. Acto seguido se realizó un inventario físico de equipos para conocer el total de equipos activos en planta. El análisis de criticidad comienza con la discriminación de equipos que, por diferentes motivos no merecen ser tenidos en cuenta para el desarrollo de la metodología, seguido de la selección de los criterios de criticidad, la metodología de ponderación y reuniones con personal experto de la planta de distintas disciplinas para realizar la calificación de manera más integral. Finalmente, mediante el uso de la matriz de criticidad que se establece de acuerdo al rango de calificaciones posibles, se realiza la jerarquización de equipos entre no críticos, semi críticos y críticos.

El resultado final de este ejercicio es la propuesta de actualización del programa de mantenimiento preventivo de los equipos críticos, aumentando la frecuencia de inspección y rutinas por parte del personal de mantenimiento, involucrando también al equipo de supervisores y operarios de planta. Así mismo, en los casos en los que la actualización del programa de mantenimiento no es la acción adecuada para disminuir el nivel de criticidad, se proponen actualizaciones de diseño de elementos mecánicos y sistemas eléctricos, que están orientados a la reducción de riesgo operativo de las máquinas en procura del incremento de la seguridad operativa y por tanto, el bienestar de los trabajadores de la compañía.

¹ Monografía de grado

² Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Alejandro Pérez Lasso.

ABSTRACT

TITLE:

CRITICALITY ANALYSIS FOR THE MAINTENANCE PROGRAM UPDATE OF THE MACHINERY PARK OF THE COMPANY AVE COLOMBIANA SAS IN ZIPAQUIRÁ³

AUTHOR:

DANIEL FELIPE BERNAL BEJARANO⁴

KEY WORDS:

INDUSTRY, ELECTRIC ACCESIORES, PREVENTIVE MAINTENANCE, CRITICALITY ANALYSIS, FAILURE RATE, DESIGN MODIFICATIONS, HSE

CONTENTS:

This monograph was developed in order to update the preventive maintenance program and engineering design of the machinery park of a production plant for low-voltage electrical items in the city of Zipaquirá. In consideration of the need for modern industry to follow management methods that aim at continuous improvement processes to guarantee its competitive capacity, the criticality analysis method of equipment was selected with different quantitative variables, taking into account average failure frequency.

The analysis began with a review of failures records and maintenance activities, leading to the creation of a nomenclature system to unify the machine codes and therefore the database records. A physical inventory of equipment was then carried out to determine the total active equipment in the plant. The criticality analysis begins with the discrimination of equipment that do not deserve to be taken into account for the development of the methodology, followed by the selection of criticality criteria, the weighting methodology and meetings with expert plant personnel of different disciplines to carry out the qualification in a more comprehensive way. Finally, through the use of the criticality matrix that is established according to the range of possible qualifications, the ranking of equipment between non-critical, semi-critical and critical is carried out.

The final result of this exercise is the proposal to update the preventive maintenance program for critical equipment, increasing the frequency of inspection and routines by maintenance personnel, also involving the team of supervisors and plant operators. Likewise, in cases in which updating the maintenance program is not the appropriate action to reduce the level of criticality, design updates are proposed for mechanical elements and electrical systems, in order to reduce the operational risk of the machines so that operational safety can be upgraded and therefore, the well-being of the company's collaborators.

³ Monograph

⁴ Physical and Mechanical Engineering Faculty. Maintenance Management Postgraduate. Director: Carlos Alejandro Perez Lasso.

INTRODUCCIÓN

En la planta de producción de AVE Colombiana SAS ubicada en el municipio de Zipaquirá, se realizan procesos de transformación de materias primas de origen metálico y plástico, complementadas con procesos de ensamble y empaque para producir todos los artículos industriales que componen el portafolio comercial de la compañía. La planta está compuesta por un parque de maquinaria de 146 equipos de diferentes tipos (inyectoras, troqueladoras, compresores, empacadoras, entre otros) que hacen parte de las distintas líneas de producción. La falla frecuente de algunos de estos equipos y su elevado riesgo operacional asociado, son fenómenos que disminuyen la capacidad productiva de la compañía, y por ende, comprometen su promesa de valor con los despachos de mercancía para los clientes.

La jefatura de mantenimiento de AVE Colombiana identificó la necesidad de actualizar las estrategias de mantenimiento utilizadas en la planta durante los últimos años por aquellas que permitan dar prioridad a las diferentes máquinas partiendo del contexto operativo y de seguridad de la compañía, para lo cual se utiliza la metodología de análisis de criticidad, modificación de programas de mantenimiento y modificaciones de ingeniería que sean consecuentes con los resultados de la metodología.

El objetivo principal de esta monografía es proponer las actualizaciones del programa de mantenimiento y las mejoras de diseño de sistemas mecánicos y eléctricos de máquinas cuyo nivel de criticidad sea crítico, como punto de partida a la disminución de costos de producción y reparación, así como el aumento de la seguridad operativa.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. CONTEXTO INDUSTRIAL

1.1.1 Sobre AVE Colombiana SAS: AVE Colombiana SAS es una compañía privada de capital 100% colombiano, dedicada a la fabricación y distribución de artículos eléctricos de baja tensión para la línea de la construcción doméstica. Adicionalmente, la compañía es representante de varias marcas extranjeras de otro tipo de artículos eléctricos tales como luminarias, cintas aislantes, breakers, entre otros.

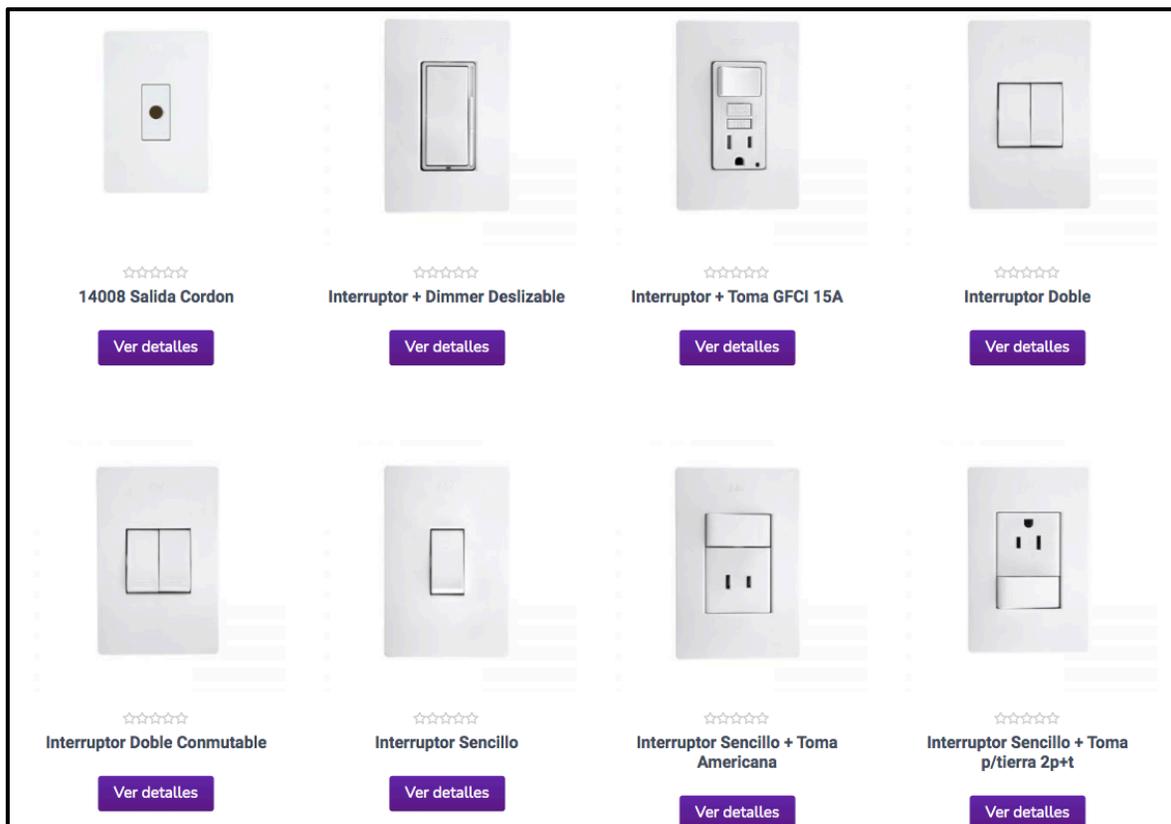
Dentro del portafolio de su línea industrial (esto es, los artículos que son fabricados en planta) se encuentran, por mencionar algunos:

- Interruptores de luz
- Tomacorrientes
- Pulsadores
- Timbres
- Clavijas
- Dimmers
- Tableros

La empresa lleva 60 años en el mercado nacional, y es una marca actualmente reconocida por el alto nivel estético, la seguridad y la durabilidad de sus productos, respaldados por las certificaciones del CIDET para cumplimiento de norma RETIE y en gestión de la calidad por ISO 9001.

Figura 1. Muestra de productos de AVE Colombiana SAS. Autor desconocido. (2021)

FUENTE: <https://avecolombiana.com.co/categoria-producto/industrial/solaio/>



La empresa cuenta con un sistema de distribución sub-contratado que le garantiza participación en el mercado en todas las regiones del país. Además, desde 2018 realiza importaciones de sus productos a países de Latinoamérica como Panamá, República Dominicana, Perú y Ecuador.

1.1.2. Sobre la fábrica de producción: AVE Colombiana SAS está ubicada en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, en el kilómetro 3 de la vía Zipaquirá – Nemocón. Ocupa un área aproximada de 3600 metros cuadrados y cuenta con una planta de empleados directos de 130 personas, distribuidos entre personal operativo, personal administrativo y personal directivo y de alta gerencia. Dependiendo de su nivel de producción, tiene la opción de contratar personal temporal, el cual puede rondar los 50 empleados, para un total de personal en picos productivos de 180 empleados.

El portafolio de la línea industrial de la compañía, que comprende todo lo elaborado en fábrica, está dividido en las siguientes líneas:

- Línea Duomo
- Línea Boreale
- Línea Solaio

Las anteriores líneas están compuestas por artículos tales como interruptores, pulsadores, tomacorrientes, zumbadores, dimmers y placas, cuya diferencia radica en las cualidades estéticas de la línea, siendo Boreale y Solaio líneas de gama alta y Duomo línea de gama media.

De manera similar, existe la línea DUE, que también cuenta con los mismos artículos de las líneas anteriormente mencionadas, con la diferencia de ser artículos de sobre poner y no incrustados en la pared.

Figura 2. Comparativo para interruptor sencillos conmutable. De izquierda a derecha: DUOMO, BOREALE y DUE. Bernal. (2021)



Para cerrar el portafolio, la empresa cuenta con una línea denominada Varios, dentro de la cual se incluyen artículos como los mencionados a continuación:

- Clavijas
- Din Don
- Tableros
- Plafones porta lámparas
- Tomas de comunicación
-

En temporada de producción alta, la empresa fabrica y despacha alrededor de 1.400.000 piezas mensuales, las cuales representan en promedio un ingreso anual bruto cercano a los ciento veinte mil millones de pesos.

1.1.3. Sobre el proceso productivo: Como todos los artículos eléctrico de esta clase, se requieren dos materias primas fundamentales para su elaboración: 1) Material metálico que sirve como elemento conductor de la electricidad, y 2) Material plástico para la fabricación del cuerpo de los accesorios, en cuyo interior se sostienen los contactos.

Fábrica “Metálicos”: La planta cuenta con una línea de producción denominada Metálicos, en la cual se procesan los contactos elaborados de materias primas conductoras tales como: cobre, latón, bronce, aluminio y acero de bajo carbono. La línea Metálicos a su vez está compuesta por las siguientes sub fábricas:

- a. Troquelado: Por medio de máquinas troqueladoras y troqueles de conformación progresiva se transforman flejes de los materiales ya mencionados en los contactos de transmisión de corriente eléctrica, tales como contactos de fase, contactos de tierra, balancines, enchufables para breakers, entre otros.
- b. Tornos: La empresa cuenta con un parque de tornos tipo revolver que transforman barras cuadradas de bronce de diferente medida de arista en pequeños bloques llamados cuadrantes, los cuales luego de un proceso posterior sirven como contactos de cable de alimentación y clavijas.
- c. Roscadoras: En esta línea se finaliza el proceso de transformación de los bloques fabricados en la línea de tornos, realizando roscado de los agujeros que requieren tornillos para ajuste de cable de alimentación, por medio de máquinas llamadas roscadoras. Además, se realiza el proceso de ranurado de los bloques que servirán como contacto de las clavijas

utilizando una máquina de ranurado de sierra circular. Finalmente, se realiza el remachado de los bloques contacto para cables a los contactos de línea tierra a través de equipos de remachado electro neumático.

Fábrica “Plásticos”: La planta cuenta con una segunda línea de producción denominada Plásticos, en la cual, como su nombre lo indica, se realiza la transformación de la materia prima plástica adquirida originalmente en forma de pellets. El proceso mediante el cual se fabrican las piezas es el de inyección, que utiliza moldes con las formas de los diferentes formatos requeridos para todas las líneas industriales de producto. En esta línea de producción se utilizan las máquinas que se mencionan brevemente a continuación:

- a. Inyectoras: Todas son de tipo horizontal. Los pellets de material plástico son cargados en las tolvas de alimentación de las inyectoras, luego de lo cual pasan a la unidad de inyección, compuesta por tornillo helicoidal y barril, cubierto por resistencias eléctricas que agregan la energía adicional en forma de calor que complementa el trabajo mecánico de desplazamiento positivo del material entre el tornillo y el barril. De este modo se transforma el estado de la materia plástica de sólido al denominado visco elástico, el cual se requiere para que se pueda inyectar la masa plástica en el molde. Luego de un tiempo de sostenimiento de presión de molde y enfriamiento de material, las piezas son expulsadas del molde y el ciclo comienza nuevamente.

Figura 3. Ejemplo de máquina inyectora tipo horizontal utilizada en el proceso de transformación de plástico. Autor desconocido. (2021) FUENTE: <https://www.arburg.com/en/products-and-services/injection-moulding/injection-moulding-machines/>



- b. Deshumidificadores: La materia prima utilizada en el proceso es higroscópica, por tanto absorbe la humedad del ambiente hasta un punto de saturación. La zona geográfica en la que la planta está ubicada es muy húmeda y el plástico absorbe en volumen un 1% de agua. Como la temperatura de proceso supera la temperatura de ebullición del agua, es necesario retirar la humedad de la materia prima para evitar defectos de proceso. Por tal motivo el plástico pasa por un proceso de deshumidificación de entre 4 a 6 horas previo a su carga en la tolva de la máquina inyectora.
- c. Separadores de colada: Los moldes utilizados en la planta son moldes de colada continua. Por ende, en cada ciclo de inyección, además de las piezas plásticas utilizadas para los diferentes artículos, también se inyecta

una segunda pieza plástica correspondiente al camino que realiza el plástico desde la boquilla de inyección a las cavidades del molde. Esta pieza se denomina colada, y es separada del producto final por medio de una banda y unas aspas que separan la colada de las piezas deseadas.

- d. Granuladores: El material plástico utilizado en el proceso es termo plástico, y por tanto se puede re utilizar. Para ello, las coladas producto de la inyección son segregadas por color y tamaño, y luego trituradas por medio de granuladores de cuchillas dinámicas que convierten estas piezas en pequeños trozos plásticos de tamaño similar a los pellets, con lo cual se pueden devolver al proceso en una mezcla con material virgen que no supere el 50% de concentración de material reciclado.
- e. Atemperadores de aceite: Para evitar el choque térmico entre la materia prima y los moldes en su primer contacto (esto es, cuando la masa de plástico caliente “toca” por primera vez la superficie metálica) , los moldes se conectan a dispositivos llamados atemperadores, que circulan aceite caliente a través de conductos de los moldes diseñados para tal fin.
- f. Enfriadores: Tanto para los moldes como para las máquinas de inyección se requiere agua fría, la cual ayuda a mantener la temperatura de las máquinas en niveles óptimos de operación, y la temperatura de los moldes en niveles adecuados para garantizar la buena calidad de las piezas.

Fábrica “Ensamble”: Una vez que las piezas metálicas y las piezas plásticas son manufacturadas, pasan a la línea de Ensamble. Allí, se cuenta con máquinas llamadas islas de ensamble, en las que un solo operario puede ensamblar 50 piezas de una sola referencia (interruptor, tomacorriente, pulsador, etc.)

siguiendo una secuencia de ensamblado previamente establecida por la empresa. Dependiendo de la referencia a ensamblar, las islas son cargadas por los operarios patinadores con el material requerido en contenedores, a los que el operario ensamblador tiene fácil acceso mientras va colocando las piezas requeridas en platos, que están conectados entre sí por una cadena, que a su vez se mueve gracias a un sistema de piñones impulsado por un motor eléctrico y un micro interruptor de avance, que permite al operario ensamblador cambiar de plato en la medida en la que posiciona las piezas.

Fábrica “Empaque”: Luego de contar con los lotes de diferentes referencias ensambladas, estos pasan a la línea de ensamble, en las que por medio de una máquina empacadora de tipo horizontal o “flow pack” se realiza el empaqueo de las piezas de manera individual. La máquina separa cada pieza en una banda transportadora con espaciadores plásticos y alimenta, una a una, las piezas en la unidad de empaque, en la que se realiza la cobertura de la pieza con su respectivo empaque, en el cual, de manera simultánea, se imprime el código de barras y el código QR. En la unidad de empaque se sella la lámina de empaque que conforma el paquete y posteriormente se corta cada una por medio de mordazas de corte y sellado que son calentadas por medio de resistencias eléctricas. Una vez que los lotes de producción pasan por la línea de empaque, se organizan en cajas por referencia de distinta capacidad, las cuales se encantan para garantizar el sellado de las mismas y pasan a la zona de despachos, en la que se realiza la respectiva organización según orden de pedido de cliente. Allí termina el ciclo productivo de la planta y el material queda listo para ser despachado a los diferentes clientes de la compañía.

Figura 4. Ejemplo de máquina empacadora tipo horizontal o flow pack, utilizada en la línea de empaque. Autor desconocido. (2021) FUENTE: <https://soltecal.com/schib/>



Fábrica “Tableros”: En contraste a todo el proceso productivo descrito anteriormente, la manufactura de los tableros eléctricos no está incluida directamente en la línea de proceso del resto del portafolio. Esto se debe a que en el diseño original de la planta no estaba contemplada esta línea de negocio.

Por esta razón, la fábrica de Tableros es una fábrica independiente dentro de la misma empresa. Allí se recibe la lámina de hierro calibre 20 con que se fabrican las piezas, se cortan los tamaños de los objetivos (láminas igual de largas pero mas angostas que las originales) y se pasan al área de troquelado, en donde se van cortando aún mas para ir formando las diferentes piezas de los tableros por referencia. La principal diferencia con el área de troquelado de la fábrica Metálicos, es que los troqueles utilizados son de un solo golpe y no se cavidades progresivas.

Una vez cortadas y conformadas todas las piezas, se arma el tablero por medio de un proceso de soldadura electrostática de punto, que manipula un solo operario. Cuando los tableros están armados, pasan a la zona de lavado, donde se aplica un baño de agua mezclado con desengrasantes para limpiar la superficie y garantizar el éxito del proceso de pintura, el cual también es electrostático y finalizado en un horno de curado de pintura.

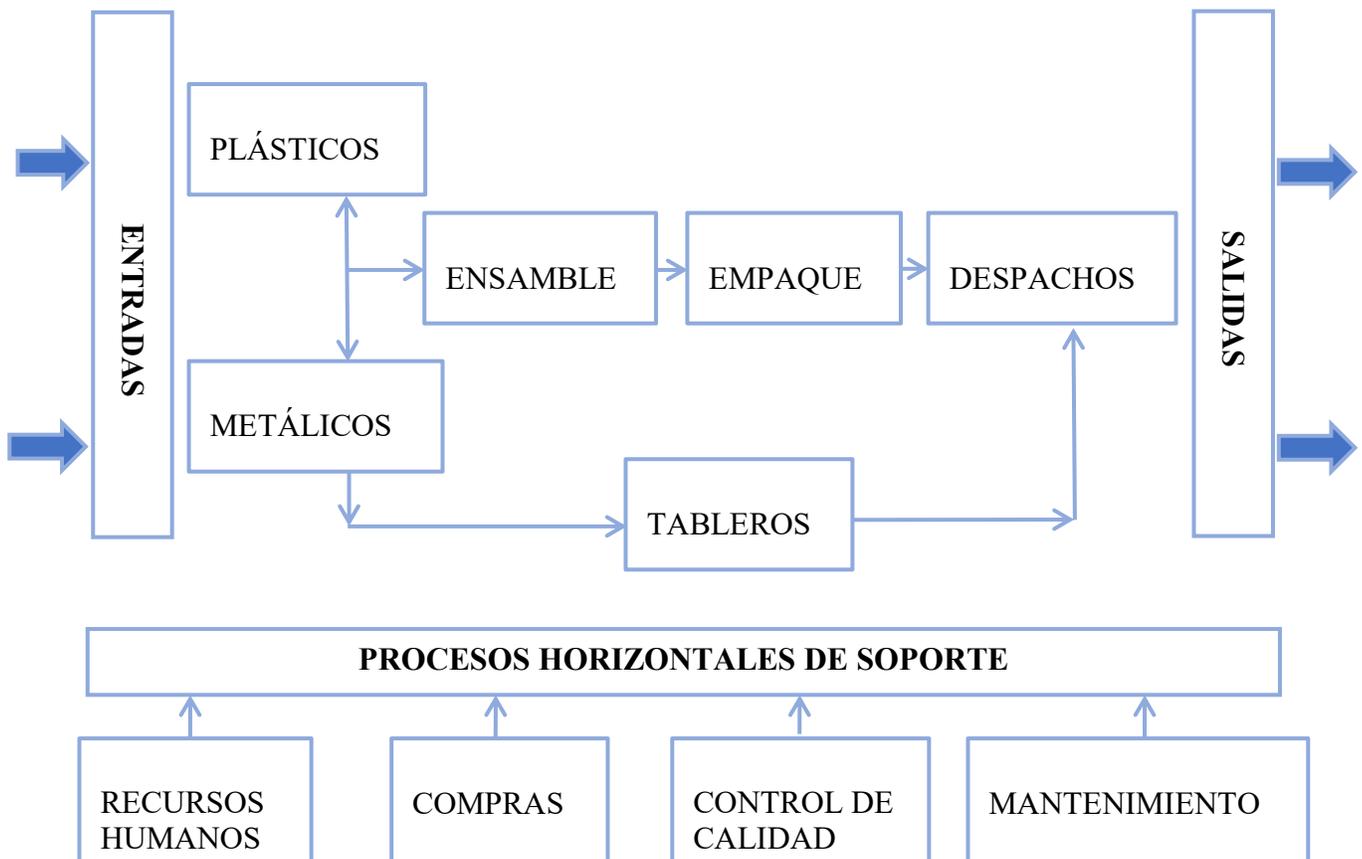
Finalmente, los tableros ensamblados y pintados pasan a la zona de ensamble, en donde se instalan todas las partes plásticas y contactos metálicos requeridos. Estas piezas provienen de las fábricas Plásticos y Metálicos respectivamente. Una vez armados por completo, los tableros son empacados en cajas de distinta capacidad de unidades, las cuales son encintadas y transportadas a la misma zona de despachos del resto del material de la empresa.

Figura 5. Tablero eléctrico monofásico de 3 circuitos producido por AVE Colombiana SAS. Autor desconocido. (2021) FUENTE: <https://avecolombiana.com.co/producto/tablero-monofasico-3-circuitos/>



En el diagrama de flujo que se presenta a continuación se resume el proceso de producción descrito anteriormente.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso productivo y procesos de apoyo relacionados.



Como entradas del sistema se cuenta con la mano de obra y las materias primas. Como salidas del sistema se cuenta con el producto terminado despachado para los clientes de la empresa. Cabe resaltar que, como se mencionó en la descripción, la línea productiva de Tableros es paralela al resto de las líneas productivas de la fábrica, sin embargo depende, en parte, del suministro de producto en proceso de las líneas de Metálicos y Plásticos.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

AVE COLOMBIANA SAS, compañía dedicada a la elaboración de accesorios eléctricos de baja tensión, ubicada en Zipaquirá, Cundinamarca, cuenta con un parque de maquinaria de 150 máquinas de distintas clases, como inyectoras de plástico, compresores de aire, troqueladoras de chapa metálica, islas de ensamble, entre otras.

Actualmente, las máquinas del parque están cubiertas por un plan de mantenimiento preventivo general, que establece rutinas preventivas para cada máquina una vez por año, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Sin embargo, la compañía no cuenta con un análisis de criticidad de sus equipos, razón por la cual es difícil asegurar el valor costo-efectivo del plan actual. Algunas de esas máquinas tienen índices de falla muy altos a pesar de estar cubiertas en el programa de mantenimiento, del orden de 3 fallas a la semana, por lo que una revisión y posible actualización del plan para estos equipos es necesaria.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General: Desarrollar un análisis de criticidad del parque de maquinaria de Ave Colombiana SAS, basado en los criterios de frecuencia de falla, impacto operacional, TPPR, riesgo operacional según SST y costo de reparación.

1.3.2 Objetivos Específicos

- A. Construir un inventario de todos los equipos que conforman el parque de maquinaria de AVE Colombiana, que permita realizar una evaluación del programa de mantenimiento preventivo y su cumplimiento actual en cada caso, a través de consultas a los supervisores de cada proceso productivo.

- B. Aplicar los métodos determinados para análisis de criticidad resultado de la consulta bibliográfica al parque de maquinaria de Ave Colombiana, para establecer la jerarquización de cada unos de los equipos que lo componen.

- C. Teniendo en cuenta el resultado del análisis, proponer una actualización del programa de mantenimiento para equipos clasificados como críticos dentro del parque de maquinaria de Ave Colombiana, de manera que la ejecución del programa reduzca su condición de criticidad .

- D. Proponer modificaciones de diseño en las máquinas para las que una actualización en el programa de mantenimiento preventivo no contribuya al nivel de jerarquización crítico, de manera que se logre disminuir su condición de criticidad.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

La razón de ser del proceso de Mantenimiento de cualquier compañía es la de asegurar el más alto porcentaje de cumplimiento en el tiempo de las funciones de las máquinas y equipos incluidos en este, al menor costo posible. De lo anterior depende en buena medida el hecho de garantizar la máxima eficiencia de las secciones productivas de una empresa. Aunque muchas de estas cuentan con planes de mantenimiento establecidos, en algunos casos, que se cumplen con rigor, no se suelen realizar los análisis previos requeridos para determinar que las estrategias establecidas dentro del plan son las mas efectivas en relación al manejo del recurso humano, técnico y económico. Lo anterior es especialmente válido para empresas que cuentan con varias clases de máquinas, en donde no todas cumplen la misma función, y en donde algunas de ellas representan mayores pérdidas de capacidad productiva cuando están fuera de servicio por la ocurrencia de fallas.

En este orden de ideas, la estructura de un programa de mantenimiento debe estar supeditada por una análisis previo que permita establecer la jerarquización de los equipos, teniendo como resultado la diferenciación entre los equipos más y menos críticos, desde el punto de vista de productividad y seguridad. Este análisis se conoce como **Análisis de Criticidad**. El principal aporte del desarrollo de este análisis es aquel de entender de manera muy precisa cuales son los impactos de las fallas de los diferentes equipos dentro de una cadena productiva, lo que a su vez permite diseñar e implementar estrategias de mantenimiento asociadas a la magnitud de cada impacto.

De este modo, aquellos equipos con un bajo nivel de criticidad tendrán asociadas rutinas de mantenimiento más sencillas y por tanto más económicas (por ejemplo, mantenimiento correctivo), mientras que los equipos de mayor criticidad deberán cumplir programas de mantenimiento más estrictos y puntuales (por ejemplo, mantenimiento predictivo, RCM). La aplicación de diferentes estrategias de mantenimiento desde el punto de vista de la criticidad permite enfocar los presupuestos de mantenimiento a aquellos equipos cuyas paradas por fallas representan mayores pérdidas económicas para las empresas, lo que representa inevitablemente ahorros de dinero por la baja frecuencia de paradas imprevistas de dichos equipos.

2. MARCO TEÓRICO

Para entender el desarrollo de un análisis de criticidad primero se debe revisar el concepto de confiabilidad operacional, entendida como la capacidad de un sistema compuesto por tecnología, procesos y recurso humano, para cumplir su función de diseño y bajo cierto contexto operacional. Cada atributo de la confiabilidad operacional tiene a su vez conceptos de confiabilidad independientes, dentro de los cuales se destaca la confiabilidad de mantenimiento. Esta última, propende el garantizar la confiabilidad de equipos, entendida como la probabilidad que tiene una máquina o activo de cumplir su función sin incurrir en falla por cierto periodo de tiempo [1].

Al ser la confiabilidad de mantenimiento una herramienta necesaria para garantizar el buen desempeño productivo de cualquier empresa, el análisis de criticidad se convierte en una metodología importante en procura de este objetivo. Este análisis, consiste en la jerarquización de sistemas, máquinas y equipos, mediante la definición de un alcance y propósito particular (contexto operacional), y el establecimiento de criterios de evaluación y selección de método de evaluación para efectuar dicha jerarquización.

Matemáticamente, la criticidad se define como el producto de la frecuencia y la consecuencia, estando la primera relacionada al número de eventos o fallas que presenta el sistema evaluado, y la segunda con el impacto de cada evento en relación a pérdida de productividad, costos, seguridad y ambiente. Un ejercicio clásico de análisis de criticidad sigue las siguientes etapas:

- a. Establecimiento de criterios de evaluación
- b. Selección de metodología
- c. Aplicación del procedimiento
- d. Elaboración de lista jerarquizada

En el caso particular de mantenimiento, la jerarquización de los equipos permite establecer de una manera más eficiente y las prioridades del programa de mantenimiento de todos los tipos (correctivo, preventivo, predictivo, etc.), así como la posibilidad de realizar nuevos diseños a los equipos que permitan elevar su confiabilidad.

Para iniciar el análisis se debe partir de información de base, datos estadísticos de eventos, fallas, consecuencias, tiempos de reparación, entre otros, la cual debe ser consultada y/o en ocasiones levantada por un equipo interdisciplinario de personas que conozcan la naturaleza de la operación y el funcionamiento de los procesos de mantenimiento [2].

Los criterios de evaluación del análisis de criticidad dependen del contexto operacional del sistema a evaluar. Sin embargo, unos criterios muy comunes para el desarrollo del ejercicio, dentro de un mismo periodo de tiempo, son los siguientes:

- a. Frecuencia de falla
- b. Capacidad de producción
- c. Tiempo promedio para reparar (TPPR)
- d. Costo de la reparación (unidad monetaria correspondiente)

- e. Impacto de paradas no programadas en la producción (en unidades producidas)
- f. Impacto en la seguridad de los trabajadores
- g. Impacto ambiental

Cada uno de los criterios se divide en categorías que tienen asignados unos puntajes de acuerdo al nivel del impacto de cada evento. Por ejemplo, las frecuencias de falla pueden ser de no más de X fallas al año, entre X y Y fallas al año, o más de Z fallas al año, con $X < Y < Z$. Cada categoría, dependiendo de su gravedad, tiene asociado un puntaje; luego de evaluar un equipo en cada uno de los criterios, y establecer su criticidad particular con un puntaje, se debe multiplicar el resultado de cada criticidad para determinar su criticidad ponderada. Al realizar el mismo ejercicio con el resto de los equipos de un sistema, se organizan los resultados en una tabla de mayor a menor, con lo que se obtiene una lista jerarquizada del total de activos analizados según su criticidad [3].

Otra variable del análisis de criticidad es su realización bajo el concepto de análisis de criticidad basado en riesgo, en el cual se da mucha más importancia a amenazas, vulnerabilidades y peligros sobre la salud de una población particular dentro de un contexto operacional específico [4].

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y MINERÍA DE DATOS

3.1 INVENTARIO DE EQUIPOS

Para el desarrollo del análisis de criticidad es necesario realizar, en primer lugar, un inventario general de equipos, sobre el cual se desarrollará la aplicación de la metodología seleccionada. A continuación se describe el proceso ejecutado para tal fin.

3.1.1 Revisión de bases de datos: AVE Colombiana SAS no cuenta con un sistema de software comercial para gestión de mantenimiento. Históricamente se han utilizado bases de datos creadas en Microsoft Excel en las cuales se registra la información de solicitudes de mantenimiento, órdenes de trabajo y resultados de las intervenciones de mantenimiento. Se realizó la consulta de las mencionadas bases para clasificar, en primer lugar, los equipos actuales allí registrados, para luego comparar estos registros con los equipos que comprenden la planta física, y de ser necesario, actualizar la información.

La consulta inicial de la base de datos indicó un problema de categorización de equipos importante para el cual fue necesaria una estandarización de códigos, ya que un mismo equipo aparecía bautizado en la base con diferentes nombres y códigos. Esta condición desvía el correcto análisis de la información pues, de hacerlo de la manera original, se estarían analizando más equipos de los reales. Un ejemplo de la condición original de la categorización de equipos se muestra en la Tabla 1, en la cual se resumen los diferentes resultados encontrados para

un solo equipo. En este caso, se tomó el ejemplo de la máquina de empaque marca SCHIB No. 1.

Tabla 1. Resultados de consulta en base de datos para el equipo Maquina Empacadora marca Schib número 1.

CÓDIGO DE EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO
24E	Empacadora
24EP	Empacadora Schib
24-1	Empacadora 1
24EMP	Empacadora Schib

Como se puede apreciar, un solo equipo cuenta con varios códigos y a su vez varias descripciones. Este tipo de información debe estandarizarse para poder comenzar el análisis de manera correcta. Para tal fin, se diseñó e implementó un sistema de códigos compuesto por número de línea de proceso, clase de equipo, marca del equipo y número de equipo según marca, que permitió recopilar toda la información de un mismo equipo bajo la misma categoría de código. La estructura de los códigos se explica en detalle a continuación:

NS-CE-X-Y

En donde:

NS = Número de la sección o línea productiva donde se encuentra el equipo. Por ejemplo: Inyección (11), Troquelado (13), Ensamble (25), Empaque (24), etc. Los números de sección corresponden a los mismos números de sección asignados a cada fábrica en el software de control de producción e inventarios con el que cuenta la compañía: SAP.

CE = Conjunto de letras (mínimo una y máximo dos) que corresponden a la clase de equipo al que se hace mención. Por ejemplo: La letra I para inyectora de plástico, las letras TR para troqueladora, las letras IE para isla de ensamble, las letras EP para máquina empacadora, etc.

X = Número agrupador por marca de equipo. Por ejemplo: La empresa cuenta con tres marcas distintas de máquinas inyectoras. 0 = BM, 1 = Arburg, 2 = Haitian. Para el caso de las empacadoras, la única marca con la que cuenta la compañía es la marca Schib, a la que se le asignó el número 1.

Y = Número consecutivo de conteo para la misma clase y marca de equipos, que correspondan a la misma sección o línea productiva. Por ejemplo, en la sección de Inyección hay 3 inyectoras de la marca Haitian, de modo que el último dígito del código de estos equipos está en el intervalo entre 1 y 3. Así mismo, la empresa cuenta con dos máquinas de empaque de la marca Schib, por lo que el último dígito de estos códigos está en el intervalo entre 1 y 2.

Volviendo al ejemplo de la máquina empacadora Schib, los diferentes códigos y descripciones de este equipo se sintetizaron en el código y descripción de la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de consolidación de código y descripción para la Maquina Empacadora marca Schib número 1.

CÓDIGO DE EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO
24-EP-1-1	Empacadora Schib 1

En donde:

- 24 corresponde al código de sección de Empaque
- EP corresponde a la nomenclatura de clase de equipo, que en este caso es máquina empacadora
- El primer número 1 corresponde al código de marca, que para este caso es Schib
- El segundo 1 corresponde al consecutivo de máquina para la misma sección, clase de equipo y marca de equipo. Como se cuenta con dos empacadoras de la misma marca en la misma sección, el segundo código para máquina empacadora es **24-EP-1-2**

Es importante aclarar que los guiones intermedios del código son de carácter explicativo. Es decir, se incluyen en este punto de la descripción de la aplicación metodológica para que el lector comprenda más fácilmente la construcción del código. En la implementación real se utilizan los códigos sin guiones de separación de caracteres.

En la tabla 3 se hace un resumen de la codificación de equipos de la línea de producción de Inyección, para que se ejemplifique de manera más clara cómo funciona la re asignación de códigos y descripciones. La totalidad de re asignación de códigos se muestra con el inventario final en el Anexo 1.

Tabla 3. Resultados de codificación para equipos de la línea de producción Inyección

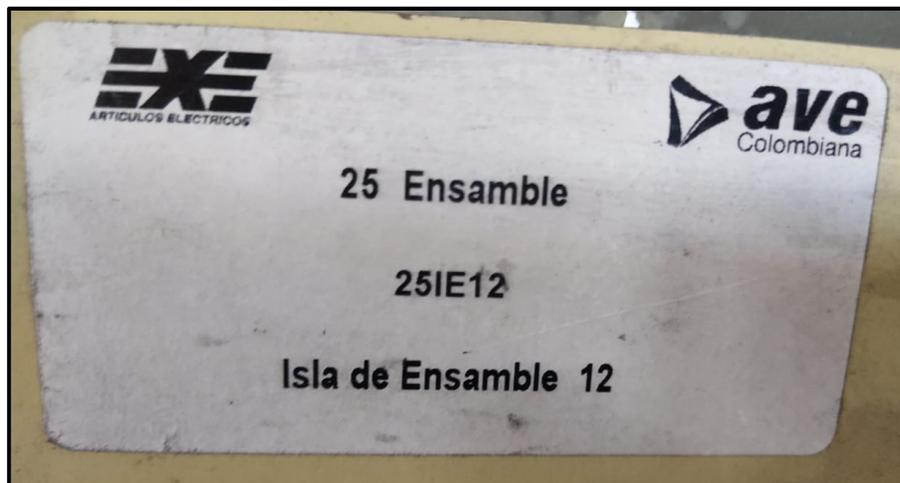
Sección	Código	Equipo o Máquina
Inyección	11AA01	Atemperador de Aceite Piovan 1
Inyección	11AA02	Atemperador de Aceite Piovan 2
Inyección	11AA11	Atemperador de Aceite Shini 1
Inyección	11AA12	Atemperador de Aceite Shini 2
Inyección	11AA13	Atemperador de Aceite Shini 3
Inyección	11AA14	Atemperador de Aceite Shini 4
Inyección	11B01	Separador de vela Samac 1
Inyección	11B02	Separador de vela Samac 2
Inyección	11B03	Separador de vela Samac 3
Inyección	11B04	Separador de vela Samac 4
Inyección	11B05	Separador de vela Samac 5
Inyección	11B06	Separador de vela Samac 6
Inyección	11B11	Separador de vela MB 1
Inyección	11B12	Separador de vela MB 2
Inyección	11B13	Separador de vela MB 3
Inyección	11BV01	Bomba de vacío hornos de presecado
Inyección	11C01	Cargador Manual Prensas
Inyección	11CH01	Chiller AFC
Inyección	11CH11	Chiller Piovan
Inyección	11DH01	Deshumidificador Shini 1
Inyección	11DH02	Deshumidificador Shini 2
Inyección	11DH03	Deshumidificador Shini 3
Inyección	11EM01	Esmeril
Inyección	11HS01	Horno de Presecado 1
Inyección	11HS02	Horno de Presecado 2
Inyección	11I03	Inyectora BM 3
Inyección	11I12	Inyectora Arburg 2
Inyección	11I13	Inyectora Arburg 3
Inyección	11I14	Inyectora Arburg 4
Inyección	11I15	Inyectora Arburg 5
Inyección	11I16	Inyectora Arburg 6
Inyección	11I17	Inyectora Arburg 7
Inyección	11I21	Inyectora Haitian 1
Inyección	11I22	Inyectora Haitian 2

Sección	Código	Equipo o Máquina
Inyección	11I23	Inyectora Haitian 3
Inyección	11M01	Molino Shini 1
Inyección	11M02	Molino Shini 2
Inyección	11M11	Molino Meccanoplastica
Inyección	11M21	Molino Chinshin
Inyección	11PM01	Pórtico para cambio de moldes

3.1.2 Revisión física de equipos: Una vez que se consolidaron todos los equipos existentes en la base de datos de la compañía, se procedió a realizar el inventario físico de los mismos en todas las fábricas. Para ello se constituyeron equipos por fábrica compuestos por el supervisor de cada sección, el jefe de mantenimiento, el director de producción y uno de los técnicos electro mecánicos del equipo de mantenimiento, quienes tienen experiencia correctiva y preventiva en la intervención de los activos.

Se realizó una jornada de inspección de equipos a cargo de estas cuadrillas, una fábrica por día, encontrando que aunque físicamente no había más equipos que los relacionados en la base de datos, el problema de categorización por códigos de la Tabla 1 era común en varias secciones. Para evitar que en el futuro se volviera a suscitar esta novedad, se elaboró un sistema de etiquetado por máquina, de modo que los supervisores de las áreas y el personal encargado de crear solicitudes de mantenimiento lo haga bajo esta categorización, y la información se siga consolidando de manera correcta. En la figura 7 se muestra el ejemplo del formato de la etiqueta para una máquina de ensamble.

Figura 7. Etiqueta de codificación para la máquina Isla de Ensamble No. 12 de la sección de Ensamble, bajo los nuevos lineamientos de codificación de equipos. Bernal. (2021)



El resumen del inventario realizado con número de equipos por sección se muestra en la Tabla 4⁵. El detalle del inventario se comparte al final de este documento en el anexo 1.

Tabla 4. Resumen de inventario realizado por cada sección o línea productiva

Sección	Total de Equipos por Sección
Almacén	4
Contratos	12
Empaque	3
Ensamble	42
Inyección	41
Rebaba	11
Roscadoras	10
Tableros	18
Taller	21
Tornos	4
Troquelado	9
Gran Total	175

⁵ Las secciones “Contratos” y “Rebaba” no se mencionaron en la sección de generalidades de este documento por ser sub procesos de las líneas de Ensamble y Plásticos, respectivamente.

4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para el desarrollo del análisis de criticidad se seleccionó la metodología implementada por los ingenieros Gabriel Antonio Consuegra Fernández y Alfredo Alberto Scalo Díaz en su monografía sobre criticidad aplicada a plantas de producción de ácido sulfúrico, presentada como monografía para aspirar al título de especialistas en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander [7]. Se seleccionó esta metodología por ser eficiente, como se aprecia en el documento de monografía, en plantas de procesamiento de químicos. Así, por la estructura de la misma resulta compatible su aplicación en plantas de procesamiento de materias primas tales como las que utiliza AVE Colombiana. El paso a paso de la metodología se describe a continuación:

- A.* Screening inicial
- B.* Definición de criterios para cálculo de criticidad
- C.* Metodología de ponderación
- D.* Reunión con personal de planta “experto”
- E.* Jerarquización de equipos
- F.* Definición de equipos
- G.* Clasificación de mantenimiento

El propósito de este análisis, como se mencionó en la sección de este objetivo, es proponer una actualización del programa de mantenimiento preventivo de la empresa, ligado a los resultados del ejercicio. Lo anterior quiere decir que para equipos no críticos no se propondrá actualización alguna, y se centrarán los resultados en aquellos equipos considerados críticos.

4.1 SCREENING INICIAL

Este proceso consiste en revisar a primera vista la lista de equipos obtenidos en el inventario y señalar aquellos que por experiencia de producción y mantenimiento se consideran poco o nada importantes para el análisis. A continuación se listan algunas consideraciones importantes que se tomaron a la hora de relegar algunos equipos del análisis:

- A.* Equipos cuya vida útil ya está próxima a cumplirse y serán dados de baja en un periodo no mayor a 6 meses calendario.
- B.* Equipos asociados a líneas de producto industrial que no se seguirán manufacturando por no tener cabida comercial en un periodo no mayor a 6 meses calendario.
- C.* Equipos de la misma clase y función que tengan al menos dos equipos back up que los releven en producción en caso de falla.

De esta manera, todos los equipos de la sección de Rebaba fueron eliminados del estudio, pues su uso es exclusivo para una línea de producto que en la actualidad no se produce más. Del mismo modo, las selladoras manuales de bolsas también, en cuanto se cuenta con muchas más de las que se requieren en producción. En la Tabla 5 se resumen todos los equipos descartados luego del screening inicial.

Tabla 5. Resumen de equipos descartados del análisis de criticidad luego de realizar el screening inicial

Sección	Código	Equipo o Máquina
Inyección	11I11	Inyectora Arburg 1
Rebaba	12PP01	Pulidora de Placa 1
Rebaba	12PP02	Pulidora de Placa 2
Rebaba	12PP03	Pulidora de Placa 3
Rebaba	12P02	Perforadora Franco Hnos 2
Rebaba	12P03	Perforadora Franco Hnos 3
Rebaba	12P04	Perforadora Franco Hnos 4
Tableros	37SP02	Equipo de soldadura de punto 2
Rebaba	12EP01	Equipo extractor de residuos Rebaba
Rebaba	12PR01	Pulidora de Roseta 1
Rebaba	12PR02	Pulidora de Roseta 2
Rebaba	12T01	Tambor de Rebaba
Troquelado	13EM01	Esmeril 1
Troquelado	13EM02	Esmeril 2
Roscadoras	15RO03	Roscadora Vigel 3
Roscadoras	15RO05	Roscadora Vigel 5
Roscadoras	15RO06	Roscadora Vigel 6
Contratos	16SE01	Selladora eléctrica 1
Contratos	16SE02	Selladora eléctrica 2
Contratos	16SE03	Selladora eléctrica 3
Contratos	16SE04	Selladora eléctrica 4
Contratos	16SE05	Selladora eléctrica 5
Contratos	16SE06	Selladora eléctrica 6
Contratos	16SE07	Selladora eléctrica 7
Contratos	16SE08	Selladora eléctrica 8
Contratos	16SE09	Selladora eléctrica 9
Contratos	16SE10	Selladora eléctrica 10
Contratos	16SE11	Selladora eléctrica 11
Contratos	16SE12	Selladora eléctrica 12

El listado de equipos con los que se realizará el análisis se presenta en el anexo 2. Del total de equipos, 175, se eliminaron 29, para un total de equipos analizados de 146. La lista definitiva para el análisis de criticidad se muestra en el anexo 2.

4.2. DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

En este punto es necesario definir cuales van a ser los criterios de calificación de los activos en el análisis de criticidad. Se seleccionó una metodología integral, que no revisa de manera exclusiva lo relacionado con eventos de producción y mantenimiento, sino que también considera aspectos de seguridad y salud en el trabajo y medio ambiente. Los criterios se enuncian y describen a continuación:

- A. Frecuencia de falla: El número de veces que falla un equipo en un periodo de tiempo determinado.
- B. Pérdida de producción: El porcentaje de producción que un equipo pierde cuando ocurre una falla.
- C. Nivel de producción: La capacidad normal de producción de la planta.
- D. Porcentaje de afectación: El porcentaje de capacidad normal de la planta que se pierde por la ocurrencia de la falla.
- E. Tiempo medio de reparación (MTTR): El tiempo que el equipo permanece fuera de servicio mientras una falla es reparada.
- F. Costo de reparación: Valor en pesos colombianos (COP) que se requiere para corregir la falla.
- G. Impacto en seguridad: Nivel de consecuencia de la falla de un equipo en relación a daños a la salud de los operadores de los mismos
- H. Impacto ambiental: Nivel de consecuencia de la falla de un equipo en relación a daños al medio ambiente

4.3. METODOLOGÍA DE PONDERACIÓN

Se utilizará el método de ponderación semi cuantitativo, el cual parte de la siguiente definición de criticidad:

CRITICIDAD = FRECUENCIA X CONSECUENCIA

En donde:

- Frecuencia: Está asociada al número de eventos de falla de un equipo. Se considera para el análisis el número de fallas de un mismo equipo durante un año calendario (No. de fallas/Año)
- Consecuencia: Está asociada al impacto que tiene la falla, a nivel económico, de seguridad y medio ambiente.
- Impacto económico: Se define como el costo de pérdida de producción sumado al costo de reparación asociados a la falla de un equipo.
- Pérdida de producción: Producción de la planta (Toneladas/Hora) x MTTR x % de afectación x Contribución marginal (USD/Tonelada)

En la Tabla 6 se muestran los criterios para evaluar una falla, en calificación numérica del 1 al 5, dependiendo del impacto que la falla tenga en cada uno de los criterios de evaluación.

En la Tabla 7 se muestran los rangos para evaluar la frecuencia de falla, partiendo de la calificación más baja, de ninguna falla por año, hasta la más alta, mayor a 10 fallas por año.

Tabla 6. Criterios de evaluación de criticidad por fallas

Criterios para evaluación de criticidad de fallas				
	Pérdida de producción	Costos de reparación	Impacto en SST	Impacto al ambiente
1	Pérdidas menores o iguales a 300.000 COP	Pérdidas menores a 250.000 COP	Sin lesión o efecto a la salud	Sin afectación
2	Pérdidas entre 300.000 COP y 1.200.000 COP	Pérdidas entre 250.000 COP y 500.000 COP	Lesión menor sin incapacidad	Afectación leve sin amenaza ambiental
3	Pérdidas entre 1.200.000 COP y 2.500.000 COP	Pérdidas entre 500.000 COP y 1.500.000 COP	Incapacidad temporal	Afectación leve con amenaza ambiental
4	Pérdidas entre 2.500.000 COP y 10.000.000 COP	Pérdidas entre 1.500.000 y 5.000.000 COP	Incapacidad permanente	Afectación fuera de los límites de la planta
5	Pérdidas mayores a 10.000.000 COP con lucro cesante de máquina mayor a 50 horas continuas	Pérdidas mayores a 5.000.000 COP	Fatalidad	Fuga o derrame masivo, daño a largo plazo

Es preciso resaltar que aunque se seleccionó una metodología base, que ya tenía unos valores definidos en cuanto a costo de pérdidas y números de falla, se tomó la decisión de modificar esos rangos basados en el contexto empresarial de AVE Colombiana, de manera que resulte útil la jerarquización de los equipos una vez concluido el ejercicio.

Tabla 7. Criterios de evaluación por frecuencia de falla

Frecuencia de Falla	
1	Menor a 3 fallas por año
2	Entre 3 y 6 fallas por año
3	Entre 7 y 10 fallas por año
4	Mayor a 10 fallas por año

Como se definió anteriormente, la criticidad será el producto entre la frecuencia de falla y la consecuencia de la misma. Dado que se tienen varias consecuencias, descritas a detalle en la Tabla 6, el valor final de criticidad será la suma de las diferentes criticidades por criterio evaluado. Por ejemplo, si una máquina cualquiera sufre 4 fallas al año, y además tiene una calificación por pérdida de producción de 5, una por costos de reparación de 3, otra por impacto de seguridad y salud en el trabajo de 1 y finalmente una por medio ambiente de 2, su valor cuantitativo de criticidad será:

$$\begin{aligned}\mathbf{CRITICIDAD} &= \mathbf{FRECUENCIA} \times \mathbf{CONSECUENCIA} \\ &= 2 \times (5 + 3 + 1 + 2) \\ &= 2 \times (11) \\ \mathbf{CRITICIDAD} &= 22\end{aligned}$$

De este modo, y teniendo en cuenta los criterios de evaluación, el mínimo valor de criticidad de un equipo será de 4, mientras que el máximo será de 80. Lo anterior también difiere de la metodología originalmente consultada, según la cual la calificación de criticidad será el valor mayor de los 4 criterios de la Tabla 6. Si una máquina cualquiera tiene la distribución de calificaciones del párrafo anterior, que suma 11, bajo el esquema del modelo consultado, su calificación sería 5, y por ende su valor de criticidad pasaría de 22 a 5. No se considera pertinente realizar el análisis de esta manera puesto que, al hacerlo, se eliminan de la jerarquización la mayoría de los criterios de evaluación y se hace énfasis solo en el mayor valor, lo cual sesga a su vez la actualización del plan de mantenimiento, el cual es objetivo principal de esta monografía.

Para facilitar la jerarquización final de los equipos, se establecen 3 grupos de máquinas: Críticos, semi-críticos y no críticos. La distribución de calificación de cada grupo se puede apreciar en la matriz de criticidad de la Figura 8.

Figura 8. Matriz de criticidad.

F R E C U E N C I A	4				
	3			Crítico	
	2		Semi-Crítico		
	1	No Crítico			
		[4]	[5-9]	[10-14]	[15-20]
		CONSECUENCIA			

En este punto es importante aclarar que, ubicando los resultados del análisis numérico de criticidad en la matriz, se diferencia el nivel de criticidad de dos resultados numéricamente iguales. Por ejemplo, una máquina cualquiera con una frecuencia de falla 4 y un criterio de consecuencias 7 (dentro del rango de 5 a 9) tendrá un valor de criticidad de 28, que ubicado en la matriz de la Figura 8 sería un equipo Crítico.

Sin embargo, si otra máquina cualquiera tiene una frecuencia de falla 2 y un criterio de consecuencias de 14 también tendrá un valor de 28, pero ubicado en la matriz de criticidad este equipo sería Semi-Crítico. De allí la importancia de

uso de la matriz, ya que esta permite tener en cuenta el peso ponderado de la frecuencia de falla y el nivel de consecuencia de manera independiente al resultado numérico, lo cual ayuda a la jerarquización precisa de todas las máquinas.

4.4. REUNIÓN CON PERSONAL DE PLANTA EXPERTO

Una vez se establecen los criterios de calificación, se procede a la conformación del equipo base que se encargará de realizar la calificación de todos los equipos que harán parte del análisis. A continuación se listan las personas que participaron en el equipo de base de calificación:

- Director de Producción
- Jefe de Mantenimiento
- Jefe de Control de Calidad
- Supervisor responsable de cada línea productiva
- Coordinador de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Auxiliar administrativo de Mantenimiento
- Técnicos electromecánicos
- Operarios destacados de cada línea productiva

La conformación del equipo base se seleccionó de manera que fuese un equipo multi-disciplinario, capaz de evaluar de manera competente la criticidad de los equipos.

Para el correcto desarrollo del ejercicio, el equipo base contó con la siguiente información, consolidada en la etapa de minería de datos:

- Número de fallas por año
- Tiempo medio de reparación (MTTR)
- Porcentaje de pérdida de producción asociado a tiempo de falla
- Costo de reparación de los equipos por falla
- Historial de incidentes y accidentes de los equipos
- Registros de impacto ambiental de los equipos

El análisis se realizó con valores promedio para cada una de las categorías anteriormente mencionadas, entre los años 2016 y 2020. A pesar que, la empresa cuenta con bases de datos de años anteriores a 2016, la información allí consignada no era lo suficientemente clara como para realizar la minería de datos descrita en la sección 3.1.1. Lo anterior se debe a que, al revisar las bases de datos anteriores a 2016, se encontraron varios problemas que no permiten resumir de manera adecuada los datos de entrada. Por ejemplo, había registros de intervenciones de máquina sin ninguna codificación, de manera que no se sabía a qué máquina se hacía referencia. Del mismo modo, se encontraron registros de intervenciones de máquina con fecha y codificación de equipo, pero sin ningún tipo de descripción e información asociada a las intervenciones.

4.5 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Tabla 8. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Almacén

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallas/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Banda Transportadora PT-Despachos	0.2	COP150,000	3	50%	COP750,000	2	6	COP270,000	1	3	1	1	1	6	6
Banda Transportadora CyT - PT	0.2	COP150,000	3	20%	COP750,000	2	6	COP108,000	1	3	1	1	1	6	6
Cargador Manual Despachos	0.2	COP150,000	2	10%	COP250,000	1	2	COP12,000	1	2	1	1	1	5	5
Cargador Manual Prensas	0.2	COP150,000	2	10%	COP250,000	1	2	COP12,000	1	2	1	1	1	5	5

Tabla 9. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Empaque

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallas/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Empacadora Schib 1	0.2	COP150,000	6	50%	COP4,900,000	2	12	COP1,080,000	2	4	1	1	1	8	8	No Crítico
Empacadora Schib 2	0.2	COP150,000	5	60%	COP8,500,000	4	20	COP1,800,000	3	5	1	1	2	10	20	Semi - Crítico
Pre encintadora de cajas Siat	0.2	COP150,000	4	60%	COP4,800,000	6	24	COP1,728,000	3	4	1	1	3	9	27	Semi - Crítico

Tabla 10. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Rebaba

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallas/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Ascensor Rebaba - Prensas	0.2	COP150,000	3	60%	COP750,000	2	6	COP324,000	2	3	2	1	1	8	8

Tabla 11. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Ensamble

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallos/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Isla de Ensamble 01	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 02	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 03	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 04	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 05	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 06	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 07	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 08	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 09	0.2	COP150,000	4	15%	COP4,860,000	9	36	COP648,000	2	4	1	1	3	8	24
Isla de Ensamble 10	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 11	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 12	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 13	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 14	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 15	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 16	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 17	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 18	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 19	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 20	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 21	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 22	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 23	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 24	0.2	COP150,000	4	15%	COP5,400,000	10	40	COP720,000	2	5	1	1	3	9	27
Isla de Ensamble 25	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 26	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,137,500	5	12.5	COP140,625	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 27	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP2,565,000	6	15	COP168,750	1	4	1	1	3	7	21
Isla de Ensamble 28	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP1,710,000	4	10	COP112,500	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 29	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP855,000	2	5	COP56,250	1	3	1	1	1	6	6
Isla de Ensamble 30	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP855,000	2	5	COP56,250	1	3	1	1	1	6	6
Isla de Ensamble 31	0.2	COP150,000	4	15%	COP4,860,000	9	36	COP648,000	2	4	1	1	3	8	24
Isla de Ensamble 32	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP855,000	2	5	COP56,250	1	3	1	1	1	6	6
Isla de Ensamble 33	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP1,282,500	3	7.5	COP84,375	1	3	1	1	2	6	12
Isla de Ensamble 34	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP855,000	2	5	COP56,250	1	3	1	1	1	6	6
Isla de Ensamble 35	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP1,710,000	4	10	COP112,500	1	4	1	1	2	7	14
Isla de Ensamble 36	0.2	COP150,000	2.5	15%	COP427,500	1	2.5	COP28,125	1	2	1	1	1	5	5
Isla de Ensamble 37	0.2	COP150,000	4	15%	COP1,080,000	2	8	COP144,000	1	3	1	1	1	6	6
Esmeril	0.2	COP150,000	1	10%	COP135,000	1	1	COP3,000	1	1	1	1	1	4	4
Ascensor Almacén - Ensamble	0.2	COP150,000	4	60%	COP1,350,000	3	12	COP864,000	2	3	2	1	2	8	16
Banda Transportadora Rebaba - Ensam	0.2	COP150,000	3	30%	COP375,000	1	3	COP81,000	1	2	1	1	1	5	5
Bobinadora MP1	0.2	COP150,000	3	30%	COP1,725,000	5	15	COP405,000	2	4	1	1	2	8	16
Maquina Tampo Print TT/50	0.2	COP150,000	1	5%	COP175,000	1	1	COP1,500	1	1	1	1	1	4	4

Tabla 12. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Inyección

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallos/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Esmeril	0.2	COP150,000	1	5%	COP135,000	1	1	COP1,500	1	1	1	1	1	4	4
Atemperador de Aceite Piovan 1	0.2	COP150,000	2	10%	COP990,000	3	6	COP36,000	1	3	1	2	2	7	14
Atemperador de Aceite Piovan 2	0.2	COP150,000	2	10%	COP990,000	3	6	COP36,000	1	3	1	2	2	7	14
Atemperador de Aceite Shini 1	0.2	COP150,000	2	10%	COP930,000	3	6	COP36,000	1	3	1	2	2	7	14
Atemperador de Aceite Shini 2	0.2	COP150,000	2	10%	COP930,000	3	6	COP36,000	1	3	1	2	2	7	14
Atemperador de Aceite Shini 3	0.2	COP150,000	2	10%	COP930,000	3	6	COP36,000	1	3	1	2	2	7	14
Atemperador de Aceite Shini 4	0.2	COP150,000	2	10%	COP930,000	3	6	COP36,000	1	3	1	2	2	7	14
Separador de vela Samac 1	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,700,000	6	24	COP576,000	2	4	1	2	3	9	27
Separador de vela Samac 2	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,700,000	6	24	COP576,000	2	4	1	2	3	9	27
Separador de vela Samac 3	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,250,000	5	20	COP480,000	2	4	1	2	2	9	18
Separador de vela Samac 4	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,250,000	5	20	COP480,000	2	4	1	2	2	9	18
Separador de vela Samac 5	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,700,000	6	24	COP576,000	2	4	1	2	3	9	27
Separador de vela Samac 6	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,250,000	5	20	COP480,000	2	4	1	2	2	9	18
Separador de vela MB 1	0.2	COP150,000	5	20%	COP1,800,000	3	15	COP450,000	2	4	1	2	2	9	18
Separador de vela MB 2	0.2	COP150,000	5	20%	COP1,800,000	3	15	COP450,000	2	4	1	2	2	9	18
Separador de vela MB 3	0.2	COP150,000	6	30%	COP1,420,000	2	12	COP648,000	2	3	1	2	1	8	8
Bomba de vacío hornos de presecado	0.2	COP150,000	3	25%	COP375,000	1	3	COP67,500	1	2	1	1	1	5	5
Cargador Manual Prensas	0.2	COP150,000	3	10%	COP325,000	1	3	COP27,000	1	2	2	1	1	6	6
Chiller AFC	0.2	COP150,000	6	20%	COP700,000	1	6	COP216,000	1	3	1	1	1	6	6
Chiller Piovan	0.2	COP150,000	2	60%	COP2,000,000	4	8	COP288,000	1	4	1	1	2	7	14
Deshumificador Shini 1	0.2	COP150,000	3	30%	COP2,525,000	5	15	COP405,000	2	4	1	1	2	8	16
Deshumificador Shini 2	0.2	COP150,000	4	20%	COP2,600,000	4	16	COP384,000	2	4	1	1	2	8	16
Deshumificador Shini 3	0.2	COP150,000	6	20%	COP3,320,000	4	24	COP864,000	2	4	1	1	2	8	16
Horno de Presecado 1	0.2	COP150,000	2	20%	COP990,000	3	6	COP72,000	1	3	1	1	2	6	12
Horno de Presecado 2	0.2	COP150,000	2	20%	COP990,000	3	6	COP72,000	1	3	1	1	2	6	12
Inyectora BM 3	0.2	COP150,000	6	25%	COP8,400,000	12	72	COP3,240,000	4	5	1	2	4	12	48
Inyectora Arburg 2	0.2	COP150,000	5	15%	COP2,925,000	3	15	COP337,500	2	4	1	2	2	9	18
Inyectora Arburg 3	0.2	COP150,000	6	25%	COP5,000,000	4	24	COP1,080,000	2	5	1	2	2	10	20
Inyectora Arburg 4	0.2	COP150,000	6	25%	COP6,750,000	3	18	COP810,000	2	5	1	2	2	10	20
Inyectora Arburg 5	0.2	COP150,000	6	40%	COP10,600,000	4	24	COP1,728,000	3	5	1	2	2	11	22
Inyectora Arburg 6	0.2	COP150,000	6	35%	COP12,750,000	3	18	COP1,134,000	2	5	1	2	2	10	20
Inyectora Arburg 7	0.2	COP150,000	6	35%	COP12,750,000	3	18	COP1,134,000	2	5	1	2	2	10	20
Inyectora Haitian 1	0.2	COP150,000	8	40%	COP9,000,000	4	32	COP3,072,000	4	5	1	2	2	12	24
Inyectora Haitian 2	0.2	COP150,000	6	40%	COP6,750,000	3	18	COP1,296,000	3	5	1	2	2	11	22
Inyectora Haitian 3	0.2	COP150,000	4	40%	COP1,800,000	1	4	COP192,000	1	4	1	2	1	8	8
Molino Shini 1	0.2	COP150,000	2	20%	COP1,050,000	1	2	COP24,000	1	3	1	1	1	6	6
Molino Shini 2	0.2	COP150,000	4	50%	COP4,500,000	6	24	COP1,440,000	3	4	1	1	3	9	27
Molino Meccanoplastica	0.2	COP150,000	2	25%	COP1,500,000	2	4	COP60,000	1	4	1	1	1	7	7
Molino Chinshin	0.2	COP150,000	2	25%	COP1,600,000	4	8	COP120,000	1	4	1	1	2	7	14
Pórtico para cambio de moldes	0.2	COP150,000	1	50%	COP255,000	1	1	COP15,000	1	2	1	1	1	5	5

Tabla 13. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Roscadoras

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallos/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Remachador Neumático 1	0.2	COP150,000	3	20%	COP2,310,000	6	18	COP324,000	2	4	3	1	3	10	30
Remachador Neumático 2	0.2	COP150,000	3	20%	COP1,540,000	4	12	COP216,000	1	4	2	1	2	8	16
Remachador Neumático 3	0.2	COP150,000	2	15%	COP930,000	3	6	COP54,000	1	3	1	1	2	6	12
Remachador Neumático 4	0.2	COP150,000	2	30%	COP930,000	3	6	COP108,000	1	3	1	1	2	6	12
Roscadora Vigel 2	0.2	COP150,000	8	60%	COP13,500,000	18	144	COP20,736,000	5	5	1	3	4	14	56
Roscadora Vigel 8	0.2	COP150,000	6	10%	COP4,160,000	8	48	COP864,000	2	4	1	1	3	8	24
Taladro Peerless	0.2	COP150,000	2	10%	COP230,000	1	2	COP12,000	1	1	1	1	1	4	4

Tabla 14. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Tableros

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallos/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Compresor Sullair	0.2	COP150,000	6	35%	COP5,850,000	3	18	COP1,134,000	2	5	1	1	2	9	18
Equipo de aplicación de pintura Mach	0.2	COP150,000	3	30%	COP3,535,000	7	21	COP567,000	2	4	1	1	3	8	24
Equipo de aplicación de pintura Mach	0.2	COP150,000	3	30%	COP4,040,000	8	24	COP648,000	2	4	1	1	3	8	24
Ciclón de pintura	0.2	COP150,000	4	40%	COP1,440,000	3	12	COP576,000	2	3	1	1	2	7	14
Horno de Pintura Sifap	0.2	COP150,000	4	40%	COP1,080,000	2	8	COP384,000	2	3	1	1	1	7	7
Remachadora mecánica 1	0.2	COP150,000	2	15%	COP1,250,000	5	10	COP90,000	1	3	3	1	2	8	16
Remachadora mecánica 2	0.2	COP150,000	2	15%	COP500,000	2	4	COP36,000	1	3	2	1	1	7	7
Remachadora mecánica 3	0.2	COP150,000	2	15%	COP750,000	3	6	COP54,000	1	3	1	1	2	6	12
Cizalla Mecánica	0.2	COP150,000	4	30%	COP980,000	2	8	COP288,000	1	3	1	1	1	6	6
Troqueladora Gaba	0.2	COP150,000	3	30%	COP375,000	1	3	COP81,000	1	2	1	1	1	5	5
Troqueladora Bromberg 1	0.2	COP150,000	3	30%	COP810,000	2	6	COP162,000	1	3	2	1	1	7	7
Troqueladora Bromberg 2	0.2	COP150,000	6	40%	COP4,140,000	6	36	COP2,592,000	4	4	3	1	3	12	36
Troqueladora Belt	0.2	COP150,000	3	15%	COP690,000	2	6	COP81,000	1	3	1	1	1	6	6
Troqueladora Perforado lateral tipo B	0.2	COP150,000	2	15%	COP540,000	2	4	COP36,000	1	3	1	1	1	6	6
Troqueladora Marcación neutro y tier	0.2	COP150,000	2	15%	COP270,000	1	2	COP18,000	1	2	1	1	1	5	5
Troqueladora Precorte de 1/2 "	0.2	COP150,000	2	15%	COP270,000	1	2	COP18,000	1	2	1	1	1	5	5
Equipo de soldadura de punto 1	0.2	COP150,000	4	40%	COP3,520,000	8	32	COP1,536,000	3	4	2	1	3	10	30

Tabla 15. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Taller

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallos/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Fresadora Deckel FP4M	0.2	COP150,000	4	15%	COP1,000,000	2	8	COP144,000	1	3	1	2	1	7	7
Fesadora Vihl Pedersen	0.2	COP150,000	4	15%	COP960,000	2	8	COP144,000	1	3	1	2	1	7	7
Fresadora Deckel FP1	0.2	COP150,000	4	15%	COP480,000	1	4	COP72,000	1	2	1	2	1	6	6
Taladro Syderic	0.2	COP150,000	1	15%	COP175,000	1	1	COP4,500	1	1	1	1	1	4	4
Taladro Turri	0.2	COP150,000	2	15%	COP230,000	1	2	COP18,000	1	1	1	1	1	4	4
Horno TKF	0.2	COP150,000	2	15%	COP270,000	1	2	COP18,000	1	2	1	1	1	5	5
Esmeril Valdor	0.2	COP150,000	1	15%	COP155,000	1	1	COP4,500	1	1	1	1	1	4	4
Prensa Chiesa Milano	0.2	COP150,000	2	15%	COP270,000	1	2	COP18,000	1	2	1	1	1	5	5
Polipasto Ingeval	0.2	COP150,000	1	30%	COP225,000	1	1	COP9,000	1	1	1	1	1	4	4
Rectificadora Proth	0.2	COP150,000	4	50%	COP1,740,000	3	12	COP720,000	2	4	1	2	2	9	18
Rectificadoda Nagase	0.2	COP150,000	3	20%	COP750,000	2	6	COP108,000	1	3	1	1	1	6	6
Rectificadora Elite	0.2	COP150,000	2	15%	COP250,000	1	2	COP18,000	1	2	1	1	1	5	5
Segueta Mecánica Funymeq	0.2	COP150,000	1	5%	COP155,000	1	1	COP1,500	1	1	1	1	1	4	4
Torno Zanoletti	0.2	COP150,000	3	40%	COP1,215,000	3	9	COP324,000	2	3	2	2	2	9	18
Torno Turri	0.2	COP150,000	2	20%	COP270,000	1	2	COP24,000	1	2	1	2	1	6	6
Torno Myford	0.2	COP150,000	2	15%	COP230,000	1	2	COP18,000	1	1	1	1	1	4	4
Erosionadora Newar NC-350	0.2	COP150,000	2	30%	COP990,000	3	6	COP108,000	1	3	1	2	2	7	14
Filtrador de Aceite Hydraquip	0.2	COP150,000	1	5%	COP135,000	1	1	COP1,500	1	1	1	1	1	4	4
Planta Cummins Onan	0.2	COP150,000	4	100%	COP750,000	1	4	COP480,000	2	3	1	3	1	9	9
Compresor Atlas GAC48-100	0.2	COP150,000	6	100%	COP5,400,000	4	24	COP4,320,000	4	5	1	1	2	11	22
Compresor Atlas GA22VSDFF	0.2	COP150,000	5	80%	COP11,250,000	6	30	COP3,600,000	4	5	1	1	3	11	33

Tabla 16. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Tornos

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallos/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Torno Traub 1	0.2	COP150,000	4	10%	COP840,000	2	8	COP96,000	1	3	1	1	1	6	6
Torno Traub 2	0.2	COP150,000	4	10%	COP1,680,000	4	16	COP192,000	1	4	1	1	2	7	14
Torno Traub 5	0.2	COP150,000	4	10%	COP420,000	1	4	COP48,000	1	2	1	1	1	5	5
Torno Mupem 1	0.2	COP150,000	6	15%	COP3,420,000	6	36	COP972,000	2	4	1	1	3	8	24

Tabla 17. Análisis de criticidad para máquinas de la sección Troquelado

Equipo o Máquina	Producción Planta (TM/hr)	Contribución marginal (COP/TM)	MTTR (hr)	% afectación	Costo reparación (COP)	Frecuencia falla (Fallas/año)	Tiempo fuera de servicio (hr)	Pérdida de Producción (COP)	Pérdida de Producción	Costo de Reparación	Impacto SST	Impacto Ambiental	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad
Cargador Manual Troquelado	0.2	COP150,000	3	10%	COP325,000	1	3	COP27,000	1	2	2	1	1	6	6
Troqueladora Mufato 1	0.2	COP150,000	5	20%	COP2,060,000	4	20	COP600,000	2	4	2	1	2	9	18
Troqueladora Mufato 2	0.2	COP150,000	4	30%	COP1,860,000	3	12	COP432,000	2	4	3	1	2	10	20
Troqueladora Copress	0.2	COP150,000	5	30%	COP2,775,000	5	25	COP1,125,000	2	4	1	1	2	8	16
Troqueladora Cerini	0.2	COP150,000	5	15%	COP1,725,000	3	15	COP337,500	2	4	1	1	2	8	16
Troqueladora MZ	0.2	COP150,000	6	15%	COP1,400,000	2	12	COP324,000	2	3	1	1	1	7	7
Troqueladora Metalco 2	0.2	COP150,000	2	10%	COP990,000	3	6	COP36,000	1	3	1	1	2	6	12

4.6. JERARQUIZACIÓN

Ahora que se realizó la correspondiente evaluación de todos los equipos seleccionados para el análisis, se procede a clasificarlos según su jerarquización de criticidad. Para ello se utiliza la matriz de criticidad de la figura 8. En las siguientes tablas se listan las máquinas por sección y su respectiva jerarquía de criticidad.

Tabla 18. Jerarquización de equipos de la sección Almacén

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Banda Transportadora PT- Despachos	1	6	6	No Crítico
Banda Transportadora CyT - PT	1	6	6	No Crítico
Cargador Manual Despachos	1	5	5	No Crítico
Cargador Manual Prensas	1	5	5	No Crítico

Tabla 19. Jerarquización de equipos de la sección Empaque

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Empacadora Schib 1	1	8	8	No Crítico
Empacadora Schib 2	2	10	20	Semi - Crítico
Pre encintadora de cajas Siat	3	9	27	Semi - Crítico

Tabla 20. Jerarquización de equipos de la sección Ensamble

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Isla de Ensamble 01	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 02	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 03	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 04	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 05	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 06	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 07	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 08	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 09	3	8	24	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 10	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 11	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 12	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 13	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 14	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 15	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 16	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 17	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 18	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 19	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 20	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 21	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 22	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 23	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 24	3	9	27	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 25	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 26	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 27	3	7	21	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 28	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 29	1	6	6	No Crítico
Isla de Ensamble 30	1	6	6	No Crítico
Isla de Ensamble 31	3	8	24	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 32	1	6	6	No Crítico
Isla de Ensamble 33	2	6	12	Semi - Crítico

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Isla de Ensamble 34	1	6	6	No Crítico
Isla de Ensamble 35	2	7	14	Semi - Crítico
Isla de Ensamble 36	1	5	5	No Crítico
Isla de Ensamble 37	1	6	6	No Crítico
Esmeril	1	4	4	No Crítico
Ascensor Almacén - Ensamble	2	8	16	Semi - Crítico
Banda Transportadora Rebaba - Ensamble	1	5	5	No Crítico
Bobinadora MP1	2	8	16	Semi - Crítico
Maquina Tampo Print TT/50	1	4	4	No Crítico

Tabla 21. Jerarquización de equipos de la sección Inyección

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Esmeril	1	4	4	No Crítico
Atemperador de Aceite Piovan 1	2	7	14	Semi - Crítico
Atemperador de Aceite Piovan 2	2	7	14	Semi - Crítico
Atemperador de Aceite Shini 1	2	7	14	Semi - Crítico
Atemperador de Aceite Shini 2	2	7	14	Semi - Crítico
Atemperador de Aceite Shini 3	2	7	14	Semi - Crítico
Atemperador de Aceite Shini 4	2	7	14	Semi - Crítico
Separador de vela Samac 1	3	9	27	Semi - Crítico
Separador de vela Samac 2	3	9	27	Semi - Crítico
Separador de vela Samac 3	2	9	18	Semi - Crítico
Separador de vela Samac 4	2	9	18	Semi - Crítico
Separador de vela Samac 5	3	9	27	Semi - Crítico
Separador de vela Samac 6	2	9	18	Semi - Crítico
Separador de vela MB 1	2	9	18	Semi - Crítico
Separador de vela MB 2	2	9	18	Semi - Crítico
Separador de vela MB 3	1	8	8	No Crítico
Bomba de vacío hornos de presecado	1	5	5	No Crítico
Cargador Manual Prensas	1	6	6	No Crítico
Chiller AFC	1	6	6	No Crítico

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Chiller Piován	2	7	14	Semi - Crítico
Deshumidificador Shini 1	2	8	16	Semi - Crítico
Deshumidificador Shini 2	2	8	16	Semi - Crítico
Deshumidificador Shini 3	2	8	16	Semi - Crítico
Horno de Presecado 1	2	6	12	Semi - Crítico
Horno de Presecado 2	2	6	12	Semi - Crítico
Inyectora BM 3	4	12	48	Crítico
Inyectora Arburg 2	2	9	18	Semi - Crítico
Inyectora Arburg 3	2	10	20	Semi - Crítico
Inyectora Arburg 4	2	10	20	Semi - Crítico
Inyectora Arburg 5	2	11	22	Semi - Crítico
Inyectora Arburg 6	2	10	20	Semi - Crítico
Inyectora Arburg 7	2	10	20	Semi - Crítico
Inyectora Haitian 1	2	12	24	Semi - Crítico
Inyectora Haitian 2	2	11	22	Semi - Crítico
Inyectora Haitian 3	1	8	8	No Crítico
Molino Shini 1	1	6	6	No Crítico
Molino Shini 2	3	9	27	Semi - Crítico
Molino Meccanoplastica	1	7	7	No Crítico
Molino Chinshin	2	7	14	Semi - Crítico
Pórtico para cambio de moldes	1	5	5	No Crítico

Tabla 22. Jerarquización de equipos de la sección Rebaba

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Ascensor Rebaba - Prensas	1	8	8	No Crítico

Tabla 23. Jerarquización de equipos de la sección Roscadoras

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Remachador Neumático 1	3	10	30	Crítico
Remachador Neumático 2	2	8	16	Semi - Crítico
Remachador Neumático 3	2	6	12	Semi - Crítico
Remachador Neumático 4	2	6	12	Semi - Crítico
Roscadora Vigel 2	4	14	56	Crítico
Roscadora Vigel 8	3	8	24	Semi - Crítico
Taladro Peerless	1	4	4	No Crítico

Tabla 24. Jerarquización de equipos de la sección Tornos

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Torno Traub 1	1	6	6	No Crítico
Torno Traub 2	2	7	14	Semi - Crítico
Torno Traub 5	1	5	5	No Crítico
Torno Mupem 1	3	8	24	Semi - Crítico

Tabla 25. Jerarquización de equipos de la sección Troquelado

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Cargador Manual Troquelado	1	6	6	No Crítico
Troqueladora Mufato 1	2	9	18	Semi - Crítico
Troqueladora Mufato 2	2	10	20	Semi - Crítico
Troqueladora Copress	2	8	16	Semi - Crítico
Troqueladora Cerini	2	8	16	Semi - Crítico
Troqueladora MZ	1	7	7	No Crítico
Troqueladora Metalco 2	2	6	12	Semi - Crítico

Tabla 26. Jerarquización de equipos de la sección Tableros

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Compresor Sullair	2	9	18	Semi - Crítico
Equipo de aplicación de pintura Mach-Jet 1	3	8	24	Semi - Crítico
Equipo de aplicación de pintura Mach-Jet 2	3	8	24	Semi - Crítico
Ciclón de pintura	2	7	14	Semi - Crítico
Horno de Pintura Sifap	1	7	7	No Crítico
Remachadora mecánica 1	2	8	16	Semi - Crítico
Remachadora mecánica 2	1	7	7	No Crítico
Remachadora mecánica 3	2	6	12	Semi - Crítico
Cizalla Mecánica	1	6	6	No Crítico
Troqueladora Gaba	1	5	5	No Crítico
Troqueladora Bromberg 1	1	7	7	No Crítico
Troqueladora Bromberg 2	3	12	36	Crítico
Troqueladora Belt	1	6	6	No Crítico
Troqueladora Perforado lateral tipo B	1	6	6	No Crítico
Troqueladora Marcación neutro y tierra CyT	1	5	5	No Crítico
Troqueladora Precorte de 1/2 "	1	5	5	No Crítico
Equipo de soldadura de punto 1	3	10	30	Crítico

Tabla 27. Jerarquización de equipos de la sección Taller

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Fresadora Deckel FP4M	1	7	7	No Crítico
Fesadora Vihl Pedersen	1	7	7	No Crítico
Fresadora Deckel FP1	1	6	6	No Crítico
Taladro Syderic	1	4	4	No Crítico
Taladro Turri	1	4	4	No Crítico
Horno TKF	1	5	5	No Crítico
Esmeril Valdor	1	4	4	No Crítico
Prensa Chiesa Milano	1	5	5	No Crítico
Polipasto Ingeval	1	4	4	No Crítico
Rectificadora Proth	2	9	18	Semi - Crítico
Rectificadoda Nagase	1	6	6	No Crítico
Rectificadora Elite	1	5	5	No Crítico
Segueta Mecánica Funymeq	1	4	4	No Crítico
Torno Zanoletti	2	9	18	Semi - Crítico
Torno Turri	1	6	6	No Crítico
Torno Myford	1	4	4	No Crítico
Erosionadora Newar NC-350	2	7	14	Semi - Crítico
Filtrador de Aceite Hydraquip	1	4	4	No Crítico
Planta Cummins Onan	1	9	9	No Crítico
Compresor Atlas GAC48-100	2	11	22	Semi - Crítico
Compresor Atlas GA22VSDFF	3	11	33	Crítico

Como se mencionó anteriormente, la actualización del programa de mantenimiento se enfocará en los equipos críticos, los cuales se resumen en la Tabla 28.

Tabla 28. Resumen de equipos críticos

Equipo o Máquina	Calificación Frecuencia	Calificación Consecuencia	Valor de Criticidad	Jerarquización
Inyectora BM 3	4	12	48	Crítico
Remachador Neumático 1	3	10	30	Crítico
Roscadora Vigel 2	4	14	56	Crítico
Troqueladora Bromberg 2	3	12	36	Crítico
Equipo de soldadura de punto 1	3	10	30	Crítico
Compresor Atlas GA22VSDFF	3	11	33	Crítico

5. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO⁶

El objetivo final de la presente monografía consiste en realizar la actualización del plan de mantenimiento partiendo de los resultados del análisis de criticidad que se desarrolló en detalle en la sección anterior. En la misma sección se especificó que dicha actualización se realizaría para las máquinas que como resultado del análisis fueron determinadas como críticas⁷.

Sin embargo, al observar detalladamente la calificación de criticidad de los equipos que resultaron ser críticos, es posible determinar que para algunos de ellos la frecuencia de falla no es el factor determinante de su calificación. Por ejemplo, para las máquinas Remachador Neumático 1 y Troqueladora Bromberg 2, el factor determinante de su condición crítica es la alta calificación que tiene el impacto de seguridad y salud en el trabajo de estos equipos.

Partiendo de lo anterior, es importante considerar que, para todos los casos de equipos críticos de este análisis, la mejor acción a tomar para disminuir su nivel de criticidad puede no ser la actualización del plan de mantenimiento sino, por ejemplo, mejoras de ingeniería que disminuyan el riesgo de operación de máquinas.

⁶ Por solicitud de AVE Colombiana SAS, no se incluirán en este documento el total de los planes de mantenimiento de sus máquinas

⁷ No se incluirá en este documento el análisis del compresor Atlas Copco GA22V.

A continuación se detallarán las actividades propuestas para cada equipo crítico, las cuales se implementaron en busca de que la condición de criticidad del activo cambie a por lo menos, semi crítico.

5.1. INYECTORA BIRAGHI MONZA No. 3

En la sección 1.1.3 se describió el funcionamiento de las máquinas inyectoras en general. El caso particular de la inyectora BM3 (código de máquina 11I03) es digno de análisis diferenciado del resto del parque de inyectoras puesto que es la máquina más antigua de su clase, y por lo tanto, la máquina con menor índice de confiabilidad.

Figura 9. Inyectora Biraghi Monza 3. Bernal. (2021)



Cuando se analiza el histórico de esta máquina al detalle, se encuentra que existen patrones de falla que reúnen la mayoría de eventos de la inyectora, los cuales se resumen a continuación:

- A. Falla del micro switch de funcionamiento automático de la unidad de cierre
- B. Falla por fuga de aceite en las válvulas proporcionales de la unidad de potencia
- C. Falla de las tarjetas electrónicas del tablero de la unidad de control

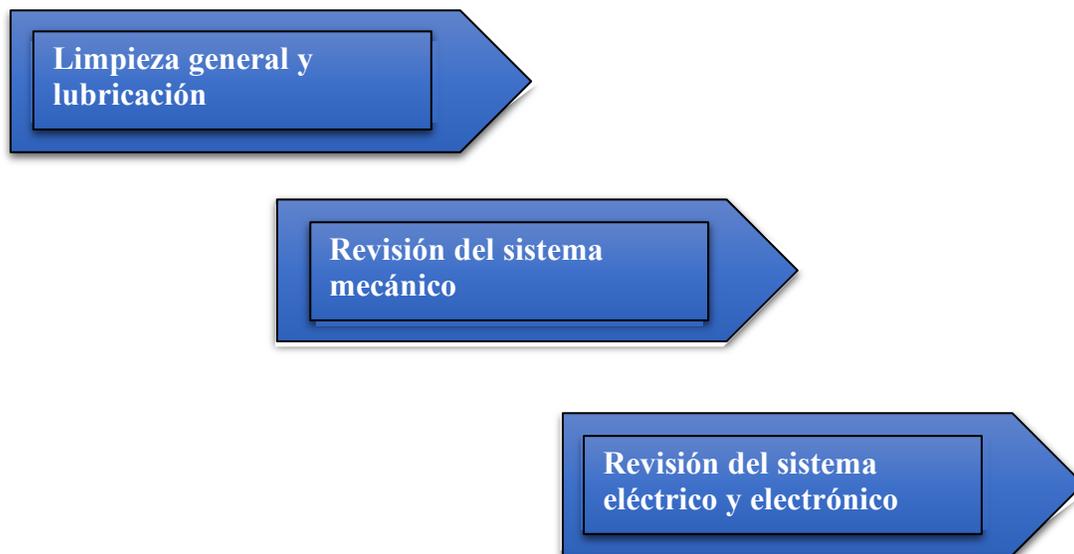
A partir de lo anterior se revisa el procedimiento actual de mantenimiento preventivo del equipo para asociar estas fallas a las actividades que actualmente se desarrollan en intervenciones preventivas.

En este punto es importante aclarar que, el programa de mantenimiento preventivo de AVE Colombiana está compuesto por una sola intervención preventiva al año para todas las máquinas de la compañía, de manera que el programa tiene un 100% de cumplimiento si en un año calendario se intervienen todos los equipos que comprenden el parque de maquinaria de la compañía.

La primera actualización propuesta del programa en general es que, para los equipos críticos, quepa la posibilidad de aumentar la frecuencia de intervención anual en búsqueda de mitigar la ocurrencia de fallas que ocasionan paradas frecuentes de equipos.

Todos los equipos de la compañía, en materia de mantenimiento preventivo se intervienen dentro de las siguientes esferas de acción, a saber:

Figura 10. Esferas de intervención en mantenimiento preventivo.



5.1.1. Fallas asociadas a sistemas eléctricos: Para el caso de los patrones de falla A y C se analiza la esfera de revisión del sistema eléctrico e electrónico, encontrando las siguientes actividades asociadas:

- *Limpieza de tarjetas de control y verificación del estado de conexiones*
- *Limpieza y verificación de funcionamiento de micro switches*

Queda en evidencia que la rutina en efecto contempla los sistemas que son susceptibles a fallas frecuentes. Sin embargo, dado que la frecuencia de

mantenimiento es muy amplia versus la ocurrencia de la novedad se proponen las siguientes:

- Programar limpieza y calibración de los micro switches de funcionamiento automático de manera mensual, a cargo de los técnicos electro mecánicos de mantenimiento en acompañamiento de los supervisores de la línea de Inyección. Se espera que el acompañamiento sea didáctico e ilustrativo de manera que los supervisores puedan realizar la labor una vez cuenten con el conocimiento adecuado para realizar y verificar la eficiencia de la labor. Lo anterior en línea de cumplimiento de la rama de mantenimiento autónomo de Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Programar revisión inmediata del estado de conexiones de las tarjetas de control y limpieza de los componentes de las mismas. Realizar las correcciones a las que haya lugar en procura de la mitigación de falla por mal contacto. Esta actividad estará a cargo de los técnicos electro mecánicos del equipo de mantenimiento.
- Realizar evaluación del comportamiento estadístico de la falla luego de realizar la intervención descrita en el ítem anterior. En caso de no obtener un resultado favorable, programar el cambio de las tarjetas de control que persistan en falla frecuente.

La máquina analizada en esta sección, como ya se mencionó, es la más antigua del parque de inyectoras de la línea, modelo 1975. En la actualidad, la empresa representante de la marca en Colombia no cuenta con repuestos de este tipo disponibles para entrega. Lo anterior significa que ante una falla catastrófica del

componente (por ejemplo, daño irreversible de la tarjeta por exceso de temperatura) el activo quedaría fuera de servicio de manera perpetua.

Es por ello que, además de la actualización de rutinas del plan de mantenimiento preventivo, debe preverse la posibilidad de cambiar la máquina por una tecnología nueva, para no perjudicar de manera crítica la capacidad productiva de la línea. Esta propuesta se debe presentar a la gerencia general de la compañía.

5.1.2. Fallas asociadas a sistema hidráulico: Para el caso del patrón de falla B se analiza la esfera de revisión del sistema de limpieza y lubricación, encontrando las siguientes actividades asociadas:

- *Limpieza de todas las superficies de la máquina. Corregir cualquier discrepancia encontrada*

Para el caso de la fuga de aceite, la actividad anterior está complementada en la esfera de revisión mecánica, con la siguiente actividad:

- *Identificación y corrección de fugas de aceite en puntos de lubricación, válvulas, columnas y todos los puntos que interactúen con fluido hidráulico*

De nuevo, queda en evidencia que la rutina de mantenimiento contempla actividades asociadas a esta falla frecuente, con la misma situación de los patrones de falla anteriores: La frecuencia de revisión es muy baja versus la

ocurrencia del evento. Por tal motivo, se propone la siguiente actualización metodológica:

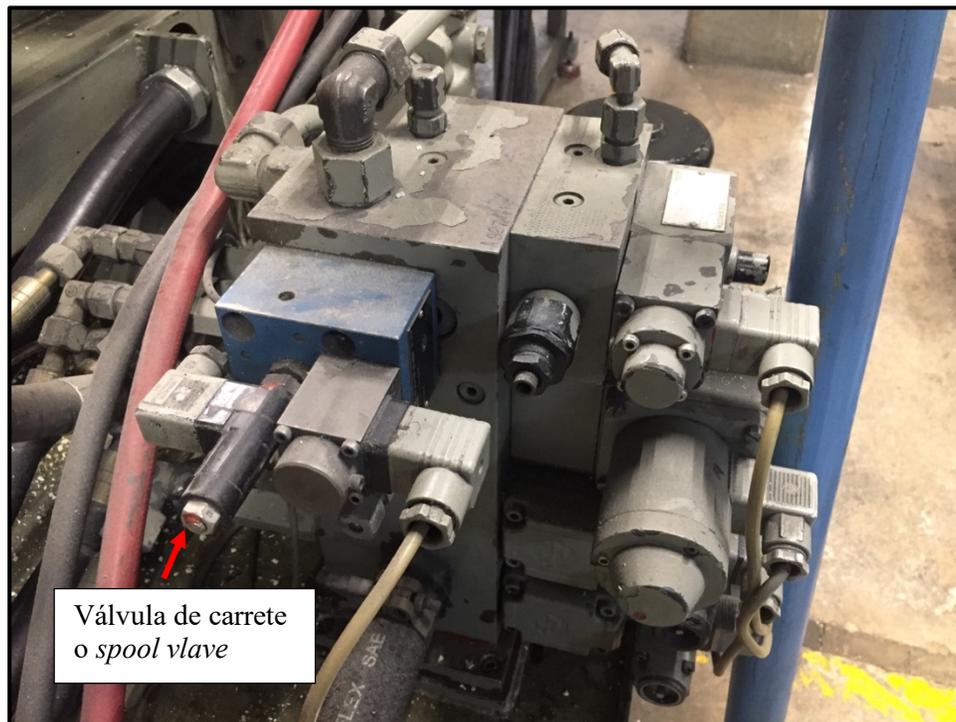
- Programar inspección del equipo en búsqueda de fugas de aceite de manera semanal, centrando la atención en las válvulas proporcionales, a cargo de los supervisores de la línea de Inyección, con apoyo inicial de los técnicos electro mecánicos del equipo de Mantenimiento, y acompañamiento de los operarios de la línea de Inyección. Este acompañamiento pretende brindar las herramientas a los operarios de identificar eficazmente estas fugas por sí mismos. Todo lo anterior también obedece a la línea de mantenimiento autónomo de TPM.
- Programar la corrección de la fuga de aceite de manera prematura antes que esta conduzca a una falla catastrófica que ocasione paradas de máquina. Esta actividad será realizada por los técnicos electro mecánicos del equipo de Mantenimiento.

La fuga de aceite de estas válvulas tiene dos fuentes diferentes, a saber:

- Desgaste de la empaquetadura de las juntas mecánicas de las válvulas. Los kits de empaques de estas válvulas actualmente son fáciles de conseguir en cuanto se solicita manufactura de los mismos en el mercado local.
- Desgaste de las válvulas tipo carrete, también conocidas como *spool valves* (ver Figura 11). Estas cuentan con su kit de empaquetadura, que es de fácil adquisición, pero también presentan desgaste en el émbolo

principal, el cual, en un nivel alto de desgaste deja la válvula fuera de servicio.

**Figura 11. Válvulas proporcionales del sistema de unidad de potencia de la inyectora 11103.
Bernal (2021)**



La consecución de las válvulas de carrete para este modelo de máquina, así como las tarjetas electrónicas de control, no es fácil, en cuanto el proveedor de la máquina discontinuó su producción dado que el modelo es muy viejo. Lo anterior refuerza la posibilidad de no contar con la máquina disponible por falta de repuestos y por ende, realizar la respectiva actualización tecnológica con un equipo nuevo.

Una observación importante en este punto del análisis es que, atendiendo una metodología adecuada de gestión de activos, el área de Mantenimiento de la compañía debe declarar oportunamente ante la Dirección de Producción y la Gerencia General que, máquinas como la recientemente analizada, son susceptibles a no hacer parte activa del parque de maquinaria de la compañía por las razones ya propuestas.

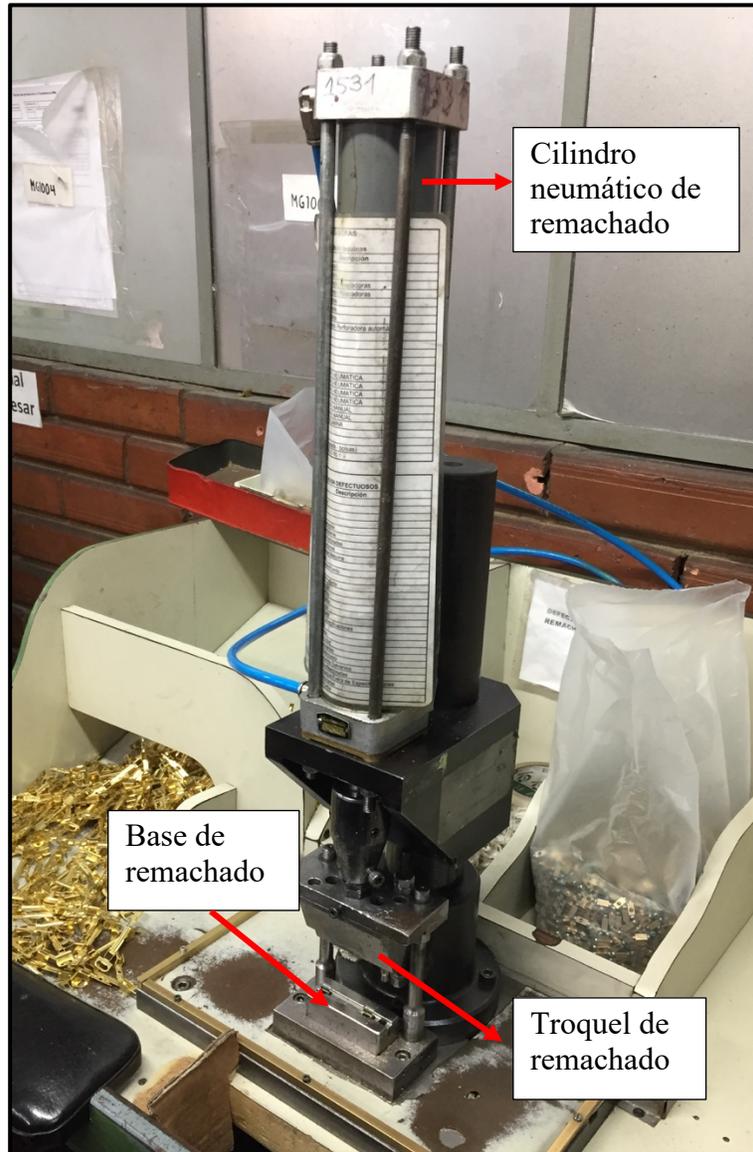
5.2. REMACHADOR NEUMÁTICO No. 1

En la figura 12 se presenta el equipo que se analizará a continuación.

El remachador neumático es una máquina sencilla, adaptada en la empresa para realizar funciones de junta mecánica entre los contactos metálicos de tierra y los cuadrantes metálicos de aprisionamiento de cable de tierra. Está compuesta por dos partes principales: Un cilindro neumático de doble efecto y un troquel de remachado. La parte fija del troquel va amarrada a la mesa de trabajo y la parte móvil a la punta del émbolo del remachador.

Como se mencionó al inicio del capítulo, no todas las actividades requeridas para disminuir el nivel de criticidad de los equipos actualmente Críticos corresponderán a actualizaciones del programa de mantenimiento. El caso del remachador neumático es uno de ellos.

Figura 12. Remachador neumático No. 1. Bernal. (2021)



Realizando la revisión en base de datos del histórico de fallas del equipo se encuentran dos patrones principales de falla, los cuales se describen a continuación:

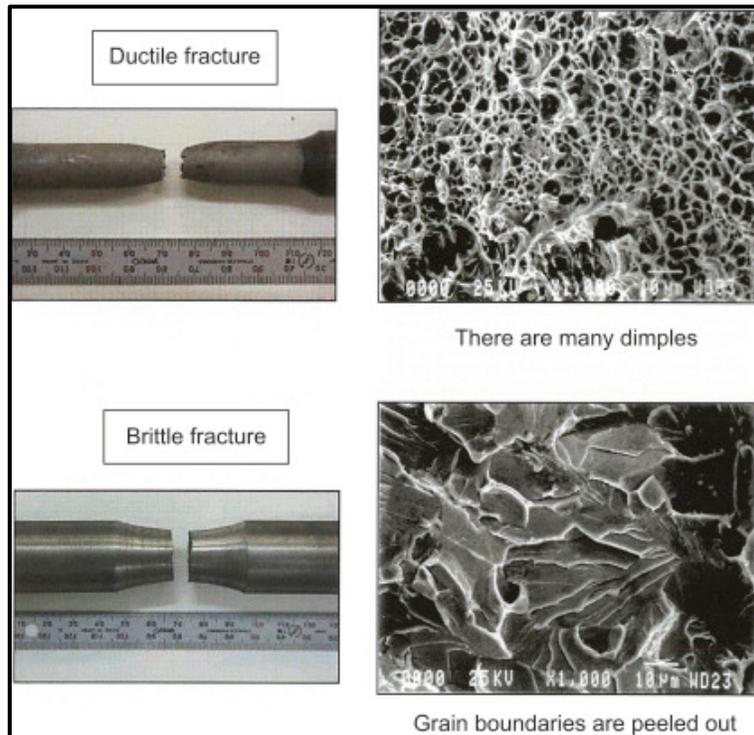
- A. Falla por fractura del tornillo limitador del impacto del troquel
- B. Falla por accionamiento inesperado del cilindro neumático, con posibilidad de atrapamiento en la mano del operario.

5.2.1. Falla por fractura del tornillo limitador: Para el patrón de falla A, se revisó la rutina de mantenimiento preventivo del equipo, encontrando la siguiente actividad asociada:

- *Verificar que el torque de juntas mecánicas tipo tornillo-tuerca sea el adecuado, inspeccionando previamente los componentes de estas juntas en busca de indicios de fracturas, golpes o desgaste excesivo, que justifiquen su cambio.*

Aunque dentro de la rutina existan actividades asociadas a la revisión de esta novedad, el equipo de Mantenimiento discutió la conveniencia de aumentar la frecuencia de estas revisiones, concluyendo que no sería del todo eficaz, dado el tipo de fractura del tornillo, que es del tipo frágil, se distingue morfológicamente de la fractura dúctil como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Diferencia morfológica y metalográfica de las fracturas dúctil (superior) y frágil (inferior). Affonso. (2006). Fuente: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ductile-fracture-and-brittle-fracture>



Una particularidad de la fractura frágil es que, al no presentar deformación plástica, es difícil de evidenciar en qué punto del ciclo de vida del elemento estará a punto de romperse. Lo anterior implica que una inspección visual tampoco sería muy útil a la hora de programar el cambio. El tornillo limitador es un tornillo comercial tipo allen M8 grado 8 de 20 milímetros de longitud, endurecido, y su función en la máquina es la de limitar la carrera del troquel al punto exacto de la distancia del remachado, con el fin de que la punta remachadora no dañe las piezas que se van a unir.

La fractura frágil es común para elementos endurecidos que estén sometidos a ciclos de impacto, y por ende resulten fallando por fatiga mecánica [8]. Es por esta razón que se propone una actualización, no de programa de mantenimiento, sino de diseño de pieza, en busca de mitigar la frecuencia de falla por este patrón en la máquina:

- Diseñar y fabricar un cilindro tope en acero AISI D2 (también conocido como XW41 o SVERKER 21) de alta resistencia al desgaste y al impacto, por ser un acero de tenacidad moderada (ver figura 14.) Cambiar el tornillo M8 actual por el cilindro tope fabricado y realizar el seguimiento al ciclo de vida del elemento.

5.2.2. Falla por accionamiento inesperado del cilindro neumático: El circuito de accionamiento del equipo está compuesto por 3 elementos principales que interactúan entre sí, a saber:

- Pulsador eléctrico manual
- Electroválvula neumática 5/2

Al oprimir el pulsador, se envía una señal eléctrica que abre la electroválvula y esta, a su vez, permite el paso del aire suficiente para que el cilindro neumático se desplace hacia abajo el troquel para realizar el remachado.

Cuando se revisaron en detalle los reportes de falla de este equipo elaborados por el coordinador de Seguridad y Salud en el Trabajo se encontró que el origen

de la falla en cuestión no es de naturaleza mecánica del equipo, sino de falta de precaución del trabajador al momento de realizar la operación del equipo.

Figura 14. Fragmento de la ficha técnica del acero AISI D2. Autor desconocido. (2021). Fuente: <http://axxocol.com/Portafolio.html>

Aplicaciones

SVERKER 21 se recomienda para fabricar utillajes que deban tener una resistencia muy alta al desgaste, combinada con una tenacidad moderada (resistencia a los golpes). Además de las aplicaciones relacionadas en catálogo de *SVERKER 3*, se utiliza para cortar materiales más gruesos y duros, y en herramientas de dar forma expuestas a esfuerzos de flexión y cargas de impacto.

SVERKER 21 puede suministrarse en varios acabados, incluyendo el laminado en caliente, premecanizado o en acabado definitivo. También puede obtenerse en forma de barras huecas y anillos.

Corte	Espesor del material	Dureza del material (HB)	
		<180 HRC	>180 HRC
Herramientas para: corte, corte fino, punzonado, doblado, cizallado, desbarbado	<3 mm 3-6 mm	60-62 58-60	58-60 54-56
Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para corte de plásticos, cuchillas de molinos granuladores			56-60 58-60
Cizallas circulares			58-60
Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja		(en caliente) (en frío)	58-60 56-58
Fresas para madera, escariadoras, mandrinos			58-60

Propiedades

CARACTERISTICAS FISICAS

Templado y revenido a 62 HRC. Características a temperatura ambiente y temperaturas elevadas.

Temperatura	20°C	200°C	400°C
Densidad kg/m ³	7 700	7 650	7 600
Coeficiente de dilatación térmica			
– a baja temperatura de revenido por 1°C a partir 201	–	12,3 x 10 ⁻⁴	–
– a alta temperatura de revenido por 1°C a partir 201	–	11,2 x 10 ⁻⁴	12 x 10 ⁻⁴
Conductividad térmica W/m °C	20,0	21,0	23,0
Módulo de elasticidad MPa	210 000	200 000	180 000
Calor específico J/kg °C	460	–	–



El pulsador eléctrico es un botón que se oprime con una sola mano, de modo que algunos trabajadores (en especial los que no tienen experiencia en la operación del equipo) intentan sacar la pieza remachada con la mano libre, incluso antes que el proceso de remachado termine, lo cual produce

atrapamientos de los dedos del operario. El anterior es un claro ejemplo de cómo la actualización del programa de mantenimiento no contribuye a la solución de la novedad que eleva el nivel de criticidad del equipo.

Es necesario, proponer una solución desde el diseño de ingeniería, que parta desde el conocimiento que sobre el equipo tiene el área de Mantenimiento, de manera que la operación del remachador tenga una restricción operativa que disminuya el riesgo de accidente.

Figura 15. Sensor capacitivo de proximidad propuesto para la actualización operativa del remachador neumático. Autor desconocido. (2021) Fuente: <https://www.industriasociadas.com/producto>



Para cumplir con lo anteriormente descrito, se propone entonces la siguiente actualización del sistema operativo de la máquina:

- Cambiar el pulsador eléctrico de botón por un circuito automatizado que cuente con dos sensores capacitivos (ver Figura 15) conectados a una fuente de voltaje, un temporizador de tiempo y un relé de estado sólido, y la ya mencionada electroválvula 5/2 que fuercen al operario a utilizar ambas manos (una en cada sensor instalado) cuando quiera activar el remachador.

5.3. ROSCADORA VIGEL No. 2

En la Figura 16 se muestra la roscadora Vigel No. 2. Este equipo está compuesto por un motor eléctrico y un sistema de engranajes que se encargan de realizar un proceso de transducción del movimiento del motor para que se opere una sierra dentada, que a su vez ranura un bloque de bronce que es parte del sistema de contacto de los toma corrientes eléctricos, que son parte importante del portafolio de productos de la empresa, tal y como se mencionó en la sección 1.1.1.

Al realizar el análisis del histórico de fallas de equipo, se encuentra un único patrón de falla frecuente:

A. Falla por fractura de piñón transductor a sierra de ranurado.

Dentro del plan de mantenimiento preventivo de este equipo no se encuentra ninguna rutina asociada a la verificación del sistema que comprende el piñón de falla frecuente. La actividad más cercana a este sistema es la siguiente:

- *Realice la lubricación por medio de las graseras de los puntos de lubricación del equipo*

Sin embargo, gracias a la información obtenida por parte del supervisor de la sección, se sabe que la máquina presenta esta falla con la misma frecuencia, haya o no lubricación del componente. La falla se muestra en la Figura 17.

Figura 16. Roscadora Vigel No. 2. Bernal. (2021)

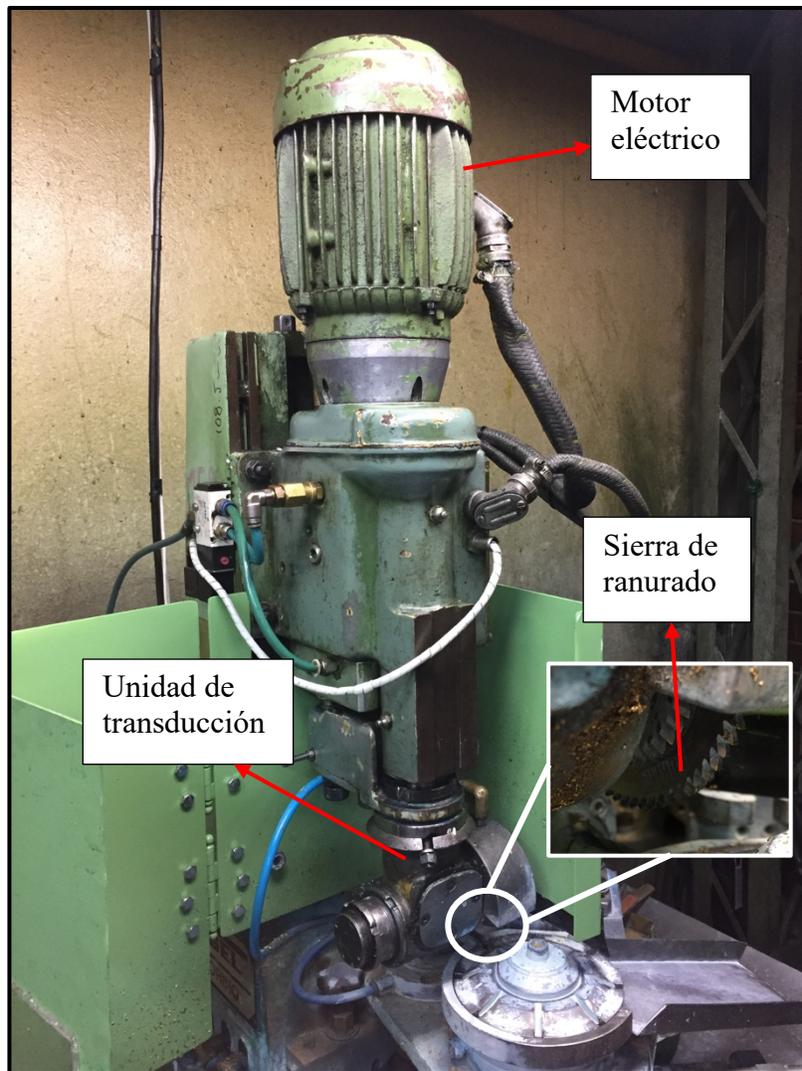


Figura 17. Piñón transductor de movimiento entre el motor principal y la sierra de ranurado con evidencia de desgaste y picaduras. Bernal. (2021)

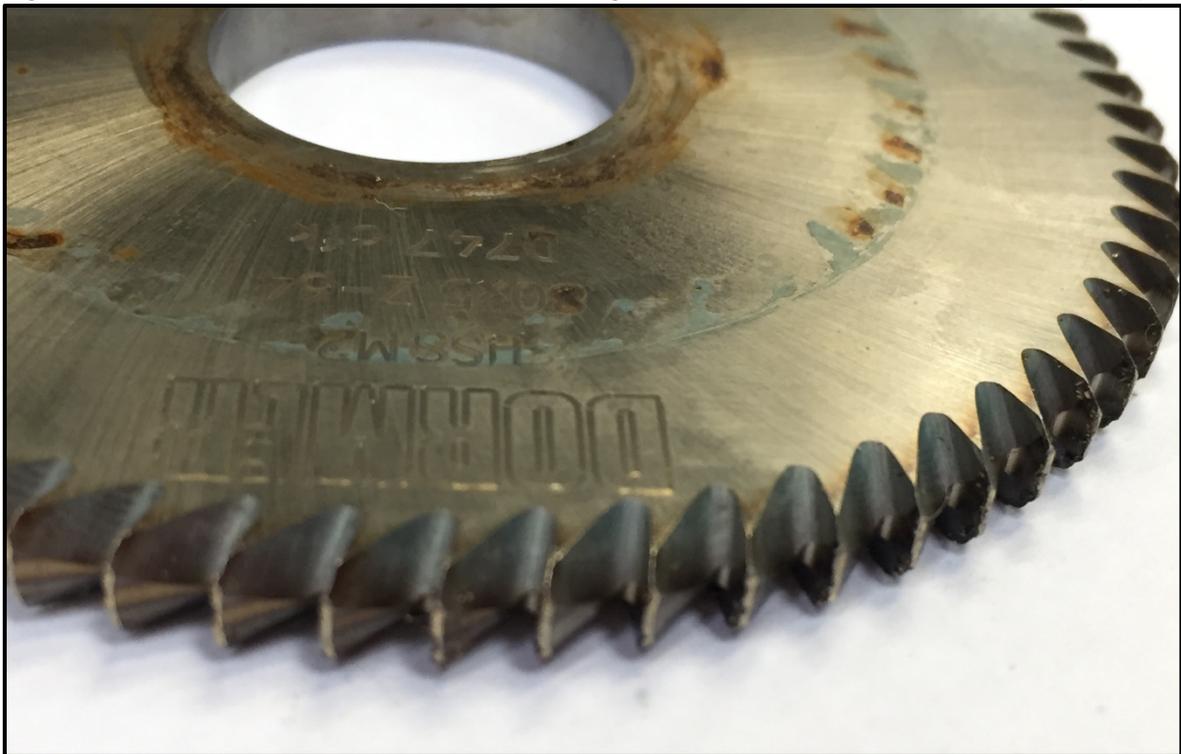


Del mismo modo, el supervisor y los operarios reportaron que, cuando la falla estaba cercana a ocurrir, la viruta resultante del proceso de ranurado cambiaba de apariencia, de granular (como suele ser normalmente) a una viruta más alargada y de tamaño mayor. Esta condición permite considerar que la sierra está arrancando con más esfuerzo el material base.

Consultando a los proveedores de las sierras de ranurado, estos relacionan dos motivos por los cuales se puede presentar el fenómeno recientemente descrito, a saber:

- La sierra se encuentra desafilada (ver Figura 18)
- La velocidad de giro de la sierra se encuentra por debajo del valor nominal de operación, que es de 500 RPM.

Figura 18. Sierra de ranurado con marcas de desgaste excesivo en sus dientes. Bernal. (2021)



Este diagnóstico se asocia con la falla que presenta el piñón transductor debido a que, realizar operaciones de corte con herramientas desafiladas produce un mayor nivel de vibraciones en los mecanismos encargados de proporcionar el movimiento directo de la herramienta [9].

Se consultó nuevamente el programa de mantenimiento preventivo de la máquina en busca de actividades asociadas a la sierra de corte, encontrando la siguiente:

- *Inspeccione la sierra de ranurado en busca de signos de desgaste excesivo. Cambie la sierra cuando visualmente este desgaste se considere perjudicial para la calidad del producto procesado.*

De modo que, aunque no se encontraron inicialmente, actividades con efecto positivo asociadas a la buena conservación del elemento piñón, partiendo de la información recopilada con empleados de la compañía y proveedores, es posible plantear actualizaciones a las rutinas de mantenimiento y actividades complementarias para procurar mitigar la frecuencia de falla. Estas son:

- Programar inspecciones semanales del estado de la sierra de ranurado a cargo del supervisor de la sección, en acompañamiento de los técnicos de electro mecánica del equipo de Mantenimiento, que permitan realizar seguimiento oportuno al desgaste de la herramienta de corte. Se propone que el acompañamiento del personal de Mantenimiento sea provisional, mientras que el supervisor y los operarios de esta línea productiva desarrollan la habilidad de inspección y determinación de la condición de cambio de la herramienta. Todo lo anterior en línea con el principio de mantenimiento autónomo de TPM.
- Realizar medición de la velocidad de giro de la sierra de ranurado, para verificar que esté en el rango de las 500 RPM. De no cumplirse esta condición, contemplar la posibilidad de ajustar la velocidad de giro de la herramienta a través de: 1) Instalar un variador de frecuencia en el motor principal de la máquina, y 2) Modificar el diseño del juego de engranajes del sistema de transducción de movimiento de la sierra, de manera que se

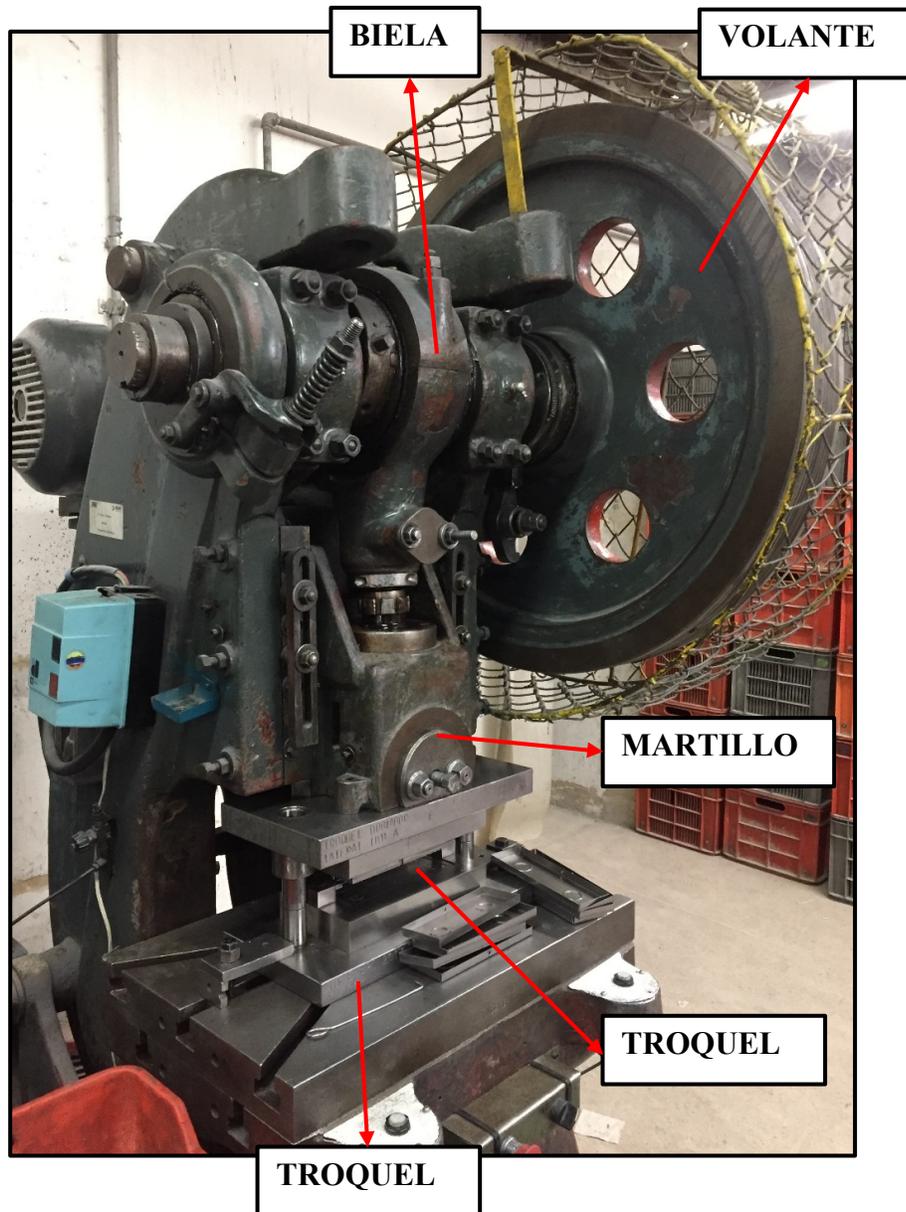
incremente la velocidad de giro de la herramienta sin modificar la velocidad de entrada del motor.

NOTA: Para el caso de las actividades recomendadas, se realizará la propuesta a la Dirección Técnica de AVE, la cual tomará la decisión de realizar una o la otra (o ninguna) luego de hacer el análisis de factibilidad económico correspondiente. Por ser un trabajo que no está alineado completamente con los objetivos de esta monografía, y por requerir un tiempo mayor al que se tuvo para el desarrollo de la misma, no se ahondará más al respecto.

5.4. TROQUELADORA BROMBERG No. 2

En la figura 19 se muestra la troqueladora Bromberg No. 2, identificando en ella algunas de sus partes más importantes. En la sección 1.1.3. se mencionó brevemente su utilización sin entrar en detalles. Una troqueladora es una máquina de funcionamiento recíprocante, en la que un motor eléctrico mueve un eje cigüeñal (similar al de un motor de carro) que tiene una biela añadida a su centro a través de un anillo tipo casquete. Esta biela tiene a su vez, en el extremo opuesto al casquete, un elemento rectangular llamado martillo, que es al que se amarra mecánicamente la parte móvil del troquel. Mientras el motor tiene un movimiento natural de rotación, gracias a la disposición del eje cigüeñal y la biela, el martillo tiene un movimiento lineal paralelo al eje axial de la máquina.

Figura 19. Troqueladora Bromberg 2. Bernal. (2021)



Revisando el histórico de fallas de las bases de datos de esta máquina, se encuentra un solo patrón de falla frecuente, que se describe a continuación:

- Falla por accionamiento inesperado de máquina, con posibilidad de atrapamiento mecánico en la mano del operario.

Esta situación es muy similar a la del Remachador Neumático No. 1 descrita en la sección 5.2. Nuevamente, luego de conversar al respecto con el coordinador de SST y el supervisor de la sección, se mencionó que el riesgo de atrapamiento es más común para empleados nuevos o sin experiencia en el uso de estas máquinas. Una vez el troquel baja y conforma la pieza, el operario debe esperar a que el martillo suba a punto muerto superior para retirar la pieza de la zona de troquelado. Luego de ello, debe activar el pulsador que acciona un circuito neumático, el cual engancha una cuña al volante de la máquina para que el martillo vuelva a bajar, y así continúa el proceso. Si la persona es inexperta, puede intentar retirar la pieza de la zona de troquelado demasiado pronto, incluso antes de que el martillo baje por completo, lo cual evidentemente supone un riesgo alto de atrapamiento. Cuando esto sucede, los operarios reportan al supervisor que “la máquina bajó muy rápido o antes de lo esperado”, y a raíz de este reporte se crea la solicitud de mantenimiento y por ende el registro de falla del equipo.

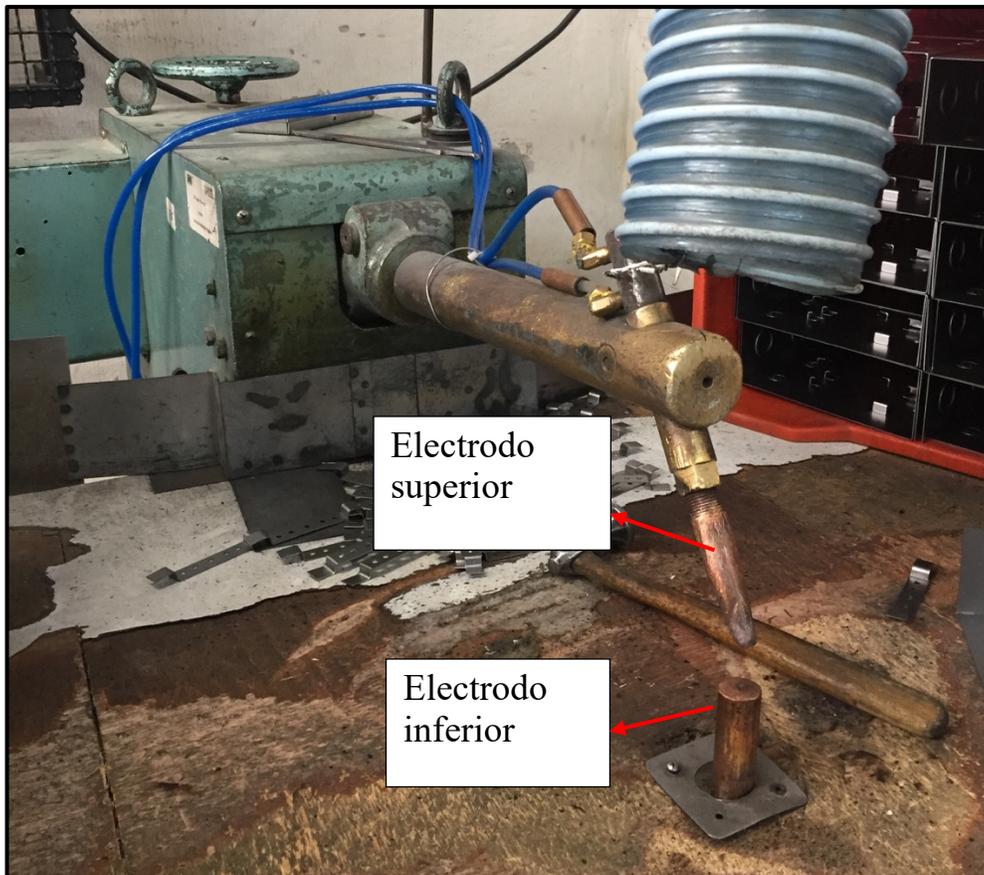
Tras la consulta del programa de mantenimiento preventivo, no se encontró ninguna actividad relacionada con la causa de falla. No sorprende que esto sea así ya que, como se determinó anteriormente, la falla del equipo no es de naturaleza de la máquina sino de la operación de la misma por parte del trabajador. En cualquier caso, el equipo de Mantenimiento está en la capacidad de proponer una alternativa para mitigar el riesgo de atrapamiento. La modificación al diseño de máquina que se propone para reducir este riesgo es la siguiente:

- Diseñar e instalar un circuito electro neumático conectado a la zona de troquelado de la máquina, el cual, a través de inyección de aire sobre la pieza troquelada, permita la expulsión de la misma sin que los operarios deban acercar las manos a esta parte de la máquina.

5.5. EQUIPO DE SOLDADURA DE PUNTO No. 1

En la figura 20 se muestra una imagen del equipo de soldadura de punto No. 1

Figura 20. Equipo de soldadura de punto. Bernal. (2021).



Este equipo cuenta con una pareja de electrodos de cobre electrolítico conectados a un transformador que emite cierto valor de corriente alterna. En medio de los dos electrodos se ubican dos piezas de lámina metálica que se quieren unir. Por medio de un pedal, el electrodo superior se desplaza hacia el inferior, estando los elementos a soldar en medio. El contacto de los electrodos y las piezas cierra el circuito, permitiendo al transformador circular la corriente por todas las piezas. Los electrodos cargados alcanzan una temperatura tal que permite fundir las piezas de acero en contacto con ellos, creando una unión mecánica por fusión de material conocida como soldadura de punto.

Revisando el histórico del equipo en la base de datos, se encuentra un patrón de falla recurrente el cual se describe a continuación:

- Falla por pérdida de capacidad de soldadura del electrodo.

Los ciclos de trabajo crean desgaste de los electrodos cambiando su geometría, además de una capa de hollín en las puntas que disminuye la capacidad conductiva del material. Consultando el programa de mantenimiento preventivo del equipo se encontró la siguiente actividad asociada con el patrón de falla:

- *Limpie y revise los electrodos en busca de golpes, fisuras, posibles fugas de agua, daño en roscas, entre otros. Realice el cambio de los mismos si su condición así lo requiere.*

Este equipo, como todos los demás del parque de maquinaria de la compañía, tienen una rutina de mantenimiento preventivo al año. De modo que aumentar la frecuencia de revisión parece ser la propuesta más indicada. Sin embargo, consultando al supervisor de la línea productiva y los técnicos de mantenimiento, comentan que el daño más común de los electrodos es la presencia de hollín en las superficies de contacto con la lámina por temperatura alta.

El equipo cuenta con un sistema de refrigeración para los electrodos compuestos por líneas de flujo internas en los electrodos conectadas a una bomba de agua centrifuga. Si se aumenta el caudal de agua que circula por los electrodos, la tasa de transferencia de calor aumentará y puede que, los electrodos tarden más en presentar la falla por hollín. Teniendo en cuenta la información anterior se proponen las siguientes actualizaciones del programa de mantenimiento y de diseño de máquina:

- Programar revisiones y limpiezas semanales de los electrodos a cargo del supervisor de la sección con el acompañamiento inicial de los técnicos electro mecánicos de mantenimiento y los operarios de la sección. Lo anterior con el fin de poder asignar la tarea a los operarios del área en el medio plazo, atendiendo los lineamientos de mantenimiento autónomo de TPM.
- Incluir en la rutina de mantenimiento preventivo la inspección del sistema de refrigeración de los electrodos, que en la actualidad no está incluida.
- Ampliar el diámetro de las líneas de flujo de los electrodos de 8 a 12 milímetros.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se desarrolló el análisis de criticidad para un total de 146 equipos del parque de maquinaria de AVE Colombiana SAS, cuya jerarquización consiste en 6 equipos críticos, 86 equipos semi críticos y 54 no críticos.

Este análisis permitió retirar del análisis un total de 29 activos, para los cuales se debe considerar su disposición final por no ser equipos relevantes para la capacidad productiva actual de la plana.

Se implementó un sistema de codificación de máquinas que permitió unificar el reporte de novedades de las mismas, así como sus registros históricos en las bases de datos de la compañía.

Se realizaron las actualizaciones correspondientes a los programas de mantenimiento preventivo a los que hubo lugar, salvo aquella del compresor Atlas Copco GA22V. Estas actualizaciones suponen un intercambio de conocimiento entre los diferentes actores del proceso productivo y de mantenimiento, elevando así el valor agregado de la mano de obra.

Adicionalmente, se propusieron modificaciones de ingeniería a algunas máquinas que mejoraran sus condiciones de operatividad y seguridad, siendo este último pilar uno muy importante en la proposición de estrategias de solución de este documento.

6.2. RECOMENDACIONES

Realizar el estudio de criticidad alta para el compresor Atlas GA22V, en línea con los resultados de jerarquización de este trabajo.

Implementar las actualizaciones del programa de mantenimiento preventivo para las máquinas analizadas en este proyecto, de manera que se logre realizar un comparativo de costo eficiencia entre el aumento de la mano de obra y los recursos invertidos versus el costo de pérdida por parada de máquina. Este comparativo permitirá definir si las actualizaciones de procedimientos y modificaciones de diseño presentadas en este documento representan un beneficio económico para la compañía.

Ejecutar las modificaciones de diseño que están relacionadas con novedades de Seguridad y Salud en el Trabajo, independientemente de su factibilidad económica, ya que representan una disminución de riesgo en la operación de algunas máquinas y por tanto, un aumento del bienestar de los trabajadores de la compañía.

Realizar el mismo análisis de disminución de causas de criticidad para equipos de jerarquización semi crítico, en cuanto existe una posibilidad de disminuir otros riesgos potenciales a la salud de los trabajadores, así como el aumento de la productividad de la compañía por disminución de paradas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] (El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional [Sitio web]. Bogotá. RELIABILITYWEB.COM [Consulta: 10 de Febrero de 2021]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>)

[2] (MOUBRAY, John. Reliability-Centered Maintenance. Segunda edición. Jordan Hill, Oxford. Butterworth-Heinemann, 1997.)

[3] (DEL CASTILLO-SERPA, A.M. Análisis de criticidad personalizados. Ingeniería Mecánica. Vol. 12. No. 3, septiembre – diciembre de 2009, páginas 1-12. [Consultado el 10 de Febrero de 2021] ISSN 1815-5944.)

[4] (THEOHARIDU, Marianthi. KOTZANIKOLAOU, Panayiotis. GRITZALIS, Dimitris. Critical Infrastructure Protection III. Third Annual IFIP WG 11.10 International Conference on Critical Infrastructure Protection, Hanover, New Hampshire, USA. Marzo 23-25, 2009. Revised Selected Papers.) [Consultado el 10 de Febrero de 2021]

[5] GARGAMA, Heeralal. CHATURVEDI, Sanjay Kumar. Criticality Assesment Models for Failure Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic. IEEE Transactions on Reliability, Vol 60. No. 1. Marzo 2011. [Consultado el 10 de Febrero de 2021]

[6] DE SOUSA NUNES, Anderson. DE OLIVEIRA ANDRADE, Jairo José. Use of failure data and criticality analysis in a maintenance management tool for electric power distribution company. Universidad Nacional de Colombia -

[7] CONSUEGRA, Gabriel Antonio. SCALO, Alfredo Alberto. [en línea base de datos UIS]. Monografía de grado para el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, 2017. [Consultado el 18 de enero de 2021]

[8] ASKELAND, Donald R. WRIGHT, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de los materiales. 6ta edición. Ciudad de México. Cengage Learning Editores S.A. 2012. Pg. 218. ISBN. 978-607-481-620-4

[9] GROOVER, Mikell P. Introducción a los procesos de manufactura. 1era edición. Madrid. Mcgraw-Hill. 2014. Pg. 327. ISBN. 607-151-208-5

ANEXOS

Anexo 1. Resumen de inventario total de equipos

Sección	Código	Equipo o Máquina
Almacén	7BT01	Banda Transportadora PT-Despachos
Almacén	7BT11	Banda Transportadora CyT - PT
Almacén	7CM01	Cargador Manual Despachos
Almacén	7CM02	Cargador Manual Prensas
Contratos	16SE01	Selladora eléctrica 1
Contratos	16SE02	Selladora eléctrica 2
Contratos	16SE03	Selladora eléctrica 3
Contratos	16SE04	Selladora eléctrica 4
Contratos	16SE05	Selladora eléctrica 5
Contratos	16SE06	Selladora eléctrica 6
Contratos	16SE07	Selladora eléctrica 7
Contratos	16SE08	Selladora eléctrica 8
Contratos	16SE09	Selladora eléctrica 9
Contratos	16SE10	Selladora eléctrica 10
Contratos	16SE11	Selladora eléctrica 11
Contratos	16SE12	Selladora eléctrica 12
Empaque	24EP01	Empacadora Schib 1
Empaque	24EP02	Empacadora Schib 2
Empaque	24EC01	Pre encintadora de cajas Siat
Ensamble	25IE01	Isla de Ensamble 01
Ensamble	25IE02	Isla de Ensamble 02
Ensamble	25IE03	Isla de Ensamble 03
Ensamble	25IE04	Isla de Ensamble 04
Ensamble	25IE05	Isla de Ensamble 05
Ensamble	25IE06	Isla de Ensamble 06
Ensamble	25IE07	Isla de Ensamble 07
Ensamble	25IE08	Isla de Ensamble 08
Ensamble	25IE09	Isla de Ensamble 09
Ensamble	25IE10	Isla de Ensamble 10
Ensamble	25IE11	Isla de Ensamble 11
Ensamble	25IE12	Isla de Ensamble 12

Ensamble	25IE13	Isla de Ensamble 13
Ensamble	25IE14	Isla de Ensamble 14
Ensamble	25IE15	Isla de Ensamble 15
Ensamble	25IE16	Isla de Ensamble 16
Ensamble	25IE17	Isla de Ensamble 17
Ensamble	25IE18	Isla de Ensamble 18
Ensamble	25IE19	Isla de Ensamble 19
Ensamble	25IE20	Isla de Ensamble 20
Ensamble	25IE21	Isla de Ensamble 21
Ensamble	25IE22	Isla de Ensamble 22
Ensamble	25IE23	Isla de Ensamble 23
Ensamble	25IE24	Isla de Ensamble 24
Ensamble	25IE25	Isla de Ensamble 25
Ensamble	25IE26	Isla de Ensamble 26
Ensamble	25IE27	Isla de Ensamble 27
Ensamble	25IE28	Isla de Ensamble 28
Ensamble	25IE29	Isla de Ensamble 29
Ensamble	25IE30	Isla de Ensamble 30
Ensamble	25IE31	Isla de Ensamble 31
Ensamble	25IE32	Isla de Ensamble 32
Ensamble	25IE33	Isla de Ensamble 33
Ensamble	25IE34	Isla de Ensamble 34
Ensamble	25IE35	Isla de Ensamble 35
Ensamble	25IE36	Isla de Ensamble 36
Ensamble	25IE37	Isla de Ensamble 37
Ensamble	25EM01	Esmeril
Ensamble	25A01	Ascensor Almacén - Ensamble
Ensamble	25BT01	Banda Transportadora Rebaba - Ensamble
Ensamble	25BO11	Bobinadora MP1
Ensamble	25TP01	Maquina Tampo Print TT/50
Inyección	11EM01	Esmeril
Inyección	11AA01	Atemperador de Aceite Piovan 1
Inyección	11AA02	Atemperador de Aceite Piovan 2
Inyección	11AA11	Atemperador de Aceite Shini 1
Inyección	11AA12	Atemperador de Aceite Shini 2
Inyección	11AA13	Atemperador de Aceite Shini 3
Inyección	11AA14	Atemperador de Aceite Shini 4
Inyección	11B01	Separador de vela Samac 1
Inyección	11B02	Separador de vela Samac 2

Inyección	11B03	Separador de vela Samac 3
Inyección	11B04	Separador de vela Samac 4
Inyección	11B05	Separador de vela Samac 5
Inyección	11B06	Separador de vela Samac 6
Inyección	11B11	Separador de vela MB 1
Inyección	11B12	Separador de vela MB 2
Inyección	11B13	Separador de vela MB 3
Inyección	11BV01	Bomba de vacío hornos de presecado
Inyección	11C01	Cargador Manual Prensas
Inyección	11CH01	Chiller AFC
Inyección	11CH11	Chiller Piovan
Inyección	11DH01	Deshumificador Shini 1
Inyección	11DH02	Deshumificador Shini 2
Inyección	11DH03	Deshumificador Shini 3
Inyección	11HS01	Horno de Presecado 1
Inyección	11HS02	Horno de Presecado 2
Inyección	11I03	Inyectora BM 3
Inyección	11I12	Inyectora Arburg 2
Inyección	11I13	Inyectora Arburg 3
Inyección	11I14	Inyectora Arburg 4
Inyección	11I15	Inyectora Arburg 5
Inyección	11I16	Inyectora Arburg 6
Inyección	11I17	Inyectora Arburg 7
Inyección	11I21	Inyectora Haitian 1
Inyección	11I22	Inyectora Haitian 2
Inyección	11I23	Inyectora Haitian 3
Inyección	11M01	Molino Shini 1
Inyección	11M02	Molino Shini 2
Inyección	11M11	Molino Meccanoplastica
Inyección	11M21	Molino Chinshin
Inyección	11PM01	Pórtico para cambio de moldes
Inyección	11I11	Inyectora Arburg 1
Rebaba	12A01	Ascensor Rebaba - Prensas
Rebaba	12PP01	Pulidora de Placa 1
Rebaba	12PP02	Pulidora de Placa 2
Rebaba	12PP03	Pulidora de Placa 3
Rebaba	12P02	Perforadora Franco Hnos 2
Rebaba	12P03	Perforadora Franco Hnos 3
Rebaba	12P04	Perforadora Franco Hnos 4

Rebaba	12EP01	Equipo extractor de residuos Rebaba
Rebaba	12PR01	Pulidora de Roseta 1
Rebaba	12PR02	Pulidora de Roseta 2
Rebaba	12T01	Tambor de Rebaba
Roscadoras	15RE01	Remachador Neumático 1
Roscadoras	15RE02	Remachador Neumático 2
Roscadoras	15RE03	Remachador Neumático 3
Roscadoras	15RE04	Remachador Neumático 4
Roscadoras	15RO02	Roscadora Vigel 2
Roscadoras	15RO08	Roscadora Vigel 8
Roscadoras	15T01	Taladro Peerless
Roscadoras	15RO03	Roscadora Vigel 3
Roscadoras	15RO05	Roscadora Vigel 5
Roscadoras	15RO06	Roscadora Vigel 6
Tableros	37CO01	Compresor Sullair
Tableros	37AP11	Equipo de aplicación de pintura Mach-Jet 1
Tableros	37AP12	Equipo de aplicación de pintura Mach-Jet 2
Tableros	37CP01	Ciclón de pintura
Tableros	37HP02	Horno de Pintura Sifap
Tableros	37RE01	Remachadora mecánica 1
Tableros	37RE02	Remachadora mecánica 2
Tableros	37RE03	Remachadora mecánica 3
Tableros	37CM01	Cizalla Mecánica
Tableros	37TR01	Troqueladora Gaba
Tableros	37TR11	Troqueladora Bromberg 1
Tableros	37TR12	Troqueladora Bromberg 2
Tableros	37TR21	Troqueladora Belt
Tableros	37TR31	Troqueladora Perforado lateral tipo B
Tableros	37TR32	Troqueladora Marcación neutro y tierra CyT
Tableros	37TR33	Troqueladora Precorte de 1/2 "
Tableros	37SP01	Equipo de soldadura de punto 1
Tableros	37SP02	Equipo de soldadura de punto 2
Taller	44F01	Fresadora Deckel FP4M
Taller	44F11	Fesadora Vihl Pedersen
Taller	44F02	Fresadora Deckel FP1
Taller	44TA01	Taladro Syderic
Taller	44TA02	Taladro Turri
Taller	44H01	Horno TKF
Taller	44EM01	Esmeril Valdor

Taller	44P01	Prensa Chiesa Milano
Taller	44PL01	Polipasto Ingeval
Taller	44R01	Rectificadora Proth
Taller	44R02	Rectificadora Nagase
Taller	44R03	Rectificadora Elite
Taller	44S01	Segueta Mecánica Funymeq
Taller	44TO01	Torno Zanoletti
Taller	44TO02	Torno Turri
Taller	44TO03	Torno Myford
Taller	44ER02	Erosionadora Newar NC-350
Taller	44FA01	Filtrador de Aceite Hydraquip
Taller	44PE01	Planta Cummins Onan
Taller	44CO01	Compresor Atlas GAC48-100
Taller	44CO02	Compresor Atlas GA22VSDFF
Tornos	14T01	Torno Traub 1
Tornos	14T02	Torno Traub 2
Tornos	14T05	Torno Traub 5
Tornos	14T11	Torno Mupem 1
Troquelado	13C01	Cargador Manual Troquelado
Troquelado	13TR01	Troqueladora Mufato 1
Troquelado	13TR02	Troqueladora Mufato 2
Troquelado	13TR11	Troqueladora Copress
Troquelado	13TR21	Troqueladora Cerini
Troquelado	13TR31	Troqueladora MZ
Troquelado	13TR42	Troqueladora Metalco 2
Troquelado	13EM01	Esmeril 1
Troquelado	13EM02	Esmeril 2

Anexo 2. Resumen del total de equipos seleccionados para el análisis de criticidad

Sección	Código	Equipo o Máquina
Almacén	7BT01	Banda Transportadora PT-Despachos
Almacén	7BT11	Banda Transportadora CyT - PT
Almacén	7CM01	Cargador Manual Despachos
Almacén	7CM02	Cargador Manual Prensas
Inyección	11EM01	Esmeril
Inyección	11AA01	Atemperador de Aceite Piovan 1
Inyección	11AA02	Atemperador de Aceite Piovan 2
Inyección	11AA11	Atemperador de Aceite Shini 1
Inyección	11AA12	Atemperador de Aceite Shini 2
Inyección	11AA13	Atemperador de Aceite Shini 3
Inyección	11AA14	Atemperador de Aceite Shini 4
Inyección	11B01	Separador de vela Samac 1
Inyección	11B02	Separador de vela Samac 2
Inyección	11B03	Separador de vela Samac 3
Inyección	11B04	Separador de vela Samac 4
Inyección	11B05	Separador de vela Samac 5
Inyección	11B06	Separador de vela Samac 6
Inyección	11B11	Separador de vela MB 1
Inyección	11B12	Separador de vela MB 2
Inyección	11B13	Separador de vela MB 3
Inyección	11BV01	Bomba de vacío hornos de presecado
Inyección	11C01	Cargador Manual Prensas
Inyección	11CH01	Chiller AFC
Inyección	11CH11	Chiller Piovan
Inyección	11DH01	Deshumidificador Shini 1
Inyección	11DH02	Deshumidificador Shini 2
Inyección	11DH03	Deshumidificador Shini 3
Inyección	11HS01	Horno de Presecado 1
Inyección	11HS02	Horno de Presecado 2
Inyección	11I03	Inyectora BM 3
Inyección	11I12	Inyectora Arburg 2
Inyección	11I13	Inyectora Arburg 3
Inyección	11I14	Inyectora Arburg 4
Inyección	11I15	Inyectora Arburg 5

Inyección	11I16	Inyectora Arburg 6
Inyección	11I17	Inyectora Arburg 7
Inyección	11I21	Inyectora Haitian 1
Inyección	11I22	Inyectora Haitian 2
Inyección	11I23	Inyectora Haitian 3
Inyección	11M01	Molino Shini 1
Inyección	11M02	Molino Shini 2
Inyección	11M11	Molino Meccanoplastica
Inyección	11M21	Molino Chinshin
Inyección	11PM01	Pórtico para cambio de moldes
Rebaba	12A01	Ascensor Rebaba - Prensas
Troquelado	13C01	Cargador Manual Troquelado
Troquelado	13TR01	Troqueladora Mufato 1
Troquelado	13TR02	Troqueladora Mufato 2
Troquelado	13TR11	Troqueladora Copress
Troquelado	13TR21	Troqueladora Cerini
Troquelado	13TR31	Troqueladora MZ
Troquelado	13TR42	Troqueladora Metalco 2
Tornos	14T01	Torno Traub 1
Tornos	14T02	Torno Traub 2
Tornos	14T05	Torno Traub 5
Tornos	14T11	Torno Mupem 1
Roscadoras	15RE01	Remachador Neumático 1
Roscadoras	15RE02	Remachador Neumático 2
Roscadoras	15RE03	Remachador Neumático 3
Roscadoras	15RE04	Remachador Neumático 4
Roscadoras	15RO02	Roscadora Vigel 2
Roscadoras	15RO08	Roscadora Vigel 8
Roscadoras	15T01	Taladro Peerless
Empaque	24EP01	Empacadora Schib 1
Empaque	24EP02	Empacadora Schib 2
Empaque	24EC01	Pre encintadora de cajas Siat
Ensamble	25IE01	Isla de Ensamble 01
Ensamble	25IE02	Isla de Ensamble 02
Ensamble	25IE03	Isla de Ensamble 03
Ensamble	25IE04	Isla de Ensamble 04
Ensamble	25IE05	Isla de Ensamble 05
Ensamble	25IE06	Isla de Ensamble 06
Ensamble	25IE07	Isla de Ensamble 07

Ensamble	25IE08	Isla de Ensamble 08
Ensamble	25IE09	Isla de Ensamble 09
Ensamble	25IE10	Isla de Ensamble 10
Ensamble	25IE11	Isla de Ensamble 11
Ensamble	25IE12	Isla de Ensamble 12
Ensamble	25IE13	Isla de Ensamble 13
Ensamble	25IE14	Isla de Ensamble 14
Ensamble	25IE15	Isla de Ensamble 15
Ensamble	25IE16	Isla de Ensamble 16
Ensamble	25IE17	Isla de Ensamble 17
Ensamble	25IE18	Isla de Ensamble 18
Ensamble	25IE19	Isla de Ensamble 19
Ensamble	25IE20	Isla de Ensamble 20
Ensamble	25IE21	Isla de Ensamble 21
Ensamble	25IE22	Isla de Ensamble 22
Ensamble	25IE23	Isla de Ensamble 23
Ensamble	25IE24	Isla de Ensamble 24
Ensamble	25IE25	Isla de Ensamble 25
Ensamble	25IE26	Isla de Ensamble 26
Ensamble	25IE27	Isla de Ensamble 27
Ensamble	25IE28	Isla de Ensamble 28
Ensamble	25IE29	Isla de Ensamble 29
Ensamble	25IE30	Isla de Ensamble 30
Ensamble	25IE31	Isla de Ensamble 31
Ensamble	25IE32	Isla de Ensamble 32
Ensamble	25IE33	Isla de Ensamble 33
Ensamble	25IE34	Isla de Ensamble 34
Ensamble	25IE35	Isla de Ensamble 35
Ensamble	25IE36	Isla de Ensamble 36
Ensamble	25IE37	Isla de Ensamble 37
Ensamble	25EM01	Esmeril
Ensamble	25A01	Ascensor Almacén - Ensamble
Ensamble	25BT01	Banda Transportadora Rebaba - Ensamble
Ensamble	25BO11	Bobinadora MP1
Ensamble	25TP01	Maquina Tampo Print TT/50
Tableros	37CO01	Compresor Sullair
Tableros	37AP11	Equipo de aplicación de pintura Mach-Jet 1
Tableros	37AP12	Equipo de aplicación de pintura Mach-Jet 2
Tableros	37CP01	Ciclón de pintura

Tableros	37HP02	Horno de Pintura Sifap
Tableros	37RE01	Remachadora mecánica 1
Tableros	37RE02	Remachadora mecánica 2
Tableros	37RE03	Remachadora mecánica 3
Tableros	37CM01	Cizalla Mecánica
Tableros	37TR01	Troqueladora Gaba
Tableros	37TR11	Troqueladora Bromberg 1
Tableros	37TR12	Troqueladora Bromberg 2
Tableros	37TR21	Troqueladora Belt
Tableros	37TR31	Troqueladora Perforado lateral tipo B
Tableros	37TR32	Troqueladora Marcación neutro y tierra CyT
Tableros	37TR33	Troqueladora Precorte de 1/2 "
Tableros	37SP01	Equipo de soldadura de punto 1
Taller	44F01	Fresadora Deckel FP4M
Taller	44F11	Fesadora Vihl Pedersen
Taller	44F02	Fresadora Deckel FP1
Taller	44TA01	Taladro Syderic
Taller	44TA02	Taladro Turri
Taller	44H01	Horno TKF
Taller	44EM01	Esmeril Valdor
Taller	44P01	Prensa Chiesa Milano
Taller	44PL01	Polipasto Ingeval
Taller	44R01	Rectificadora Proth
Taller	44R02	Rectificadoda Nagase
Taller	44R03	Rectificadora Elite
Taller	44S01	Segueta Mecánica Funymeq
Taller	44TO01	Torno Zanoletti
Taller	44TO02	Torno Turri
Taller	44TO03	Torno Myford
Taller	44ER02	Erosionadora Newar NC-350
Taller	44FA01	Filtrador de Aceite Hydraquip
Taller	44PE01	Planta Cummins Onan
Taller	44CO01	Compresor Atlas GAC48-100
Taller	44CO02	Compresor Atlas GA22VSDFF