

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN GASEOSAS COLOMBIANAS S.A.S
SEDE SUR, EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE BASADO EN LA
METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

**CESAR ALBERTO RODRIGUEZ PINTO
JUAN SEBASTIAN MARTINEZ ROJAS**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
LEYDI JULIETA CARDENAS FLECHAS
Ingeniera Electromecánica**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2023**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Leydi Julieta Cárdenas Flechas
Firma del director

Nombre
Firma del presidente jurado

Nombre
Firma del jurado

Nombre
Firma del jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro
Dr. MARIO POSADA GARCÍA PEÑA

Consejero Institucional
Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones
Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero
Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General
Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano Facultad de Ingenierías
Dra. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Programa de Ingeniería Mecánica
Ing. MARIA ANGELICA ACOSTA PEREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a el autor.

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado principalmente a mi madre que siempre ha sido mi fuente de inspiración, la mujer más importante de mi vida y quien me enseñó a siempre luchar por mis sueños, junto a mi padre y mi hermana que me apoyaron desde el inicio y estuvieron en cada etapa de mi vida aconsejándome y ayudándome. También a mi novia quien me ha acompañado cada día motivándome a ser mejor y dar todo de mí en cada aspecto de mi vida; sin el apoyo incondicional de cada uno de ellos este logro no hubiera sido posible.

Juan Sebastián Martínez Rojas

Dedico este trabajo de grado a todas las personas que hicieron parte de mi proceso profesional y personal, a mi mamá por darme la vida y la oportunidad de realizar mis estudios y ser una persona incondicional en todo momento, a mi hermana y tías que me enseñaron el esfuerzo y dedicación para lograr este objetivo, también a mi novia que me regalo la confianza y las fuerzas que necesitaba, por creer en mí siempre y acompañarme en los buenos y malos momentos, y recordarme siempre que puedo mejorar día a día como estudiante y como persona.

Cesar Alberto Rodríguez Pinto

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios y nuestras familias, amigos y compañeros por su apoyo y consejos incondicionales que nos ayudaron a realizar este proyecto de grado de forma integral y profesional, por brindarnos la confianza para culminar con éxito este proceso de aprendizaje aportando cada uno un granito de arena en nuestra formación profesional y personal.

Un especial agradecimiento a Postobón S. A. y a la planta GascolSur por la confianza depositada en nosotros al suministrado y contribuir con los datos necesarios para hacer posible el desarrollo de este proyecto, por la disposición de sus empleados del área de mantenimiento, al jefe de área, al planeador de mantenimiento y todo el equipo técnico de mantenimiento que con sus conocimientos e ideas apoyaron y guiaron este proyecto desde su concepción que es fruto de un trabajo en conjunto entre estudiantes y empleados de toda el área de mantenimiento.

A nuestra directora de tesis Leydi Cárdenas que desde que asumió el liderazgo del proyecto nos ha brindado de su paciencia y tiempo necesario para las reuniones y desarrollo de las actividades propuestas para la realización del trabajo de grado, por suministrarnos las guías y materiales necesarios para aterrizar nuestros conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra carrera, y finalmente por los consejos y sugerencias que reunión tras reunión nos brindó de sus experiencias y conocimientos para ayudarnos en todo el proceso de desarrollo del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCION	13
OBJETIVOS	15
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	16
1.1 Misión	16
1.2 Visión	16
1.3 Organigrama	18
1.4 Descripción proceso línea agua potable	20
2. DIAGNÓSTICO	25
3. SELECCIÓN DE METODOLOGÍA	29
3.1 Indicadores de mantenimiento.	29
3.1.1 <i>Disponibilidad</i>	29
3.1.2 <i>Mantenibilidad</i>	29
3.1.3 <i>Confiabilidad</i>	30
3.2 Matriz de criticidad.	30
3.2.1 <i>Factor de producción (fp)</i>	30
3.2.2 <i>Factor de costos operativos (fc)</i>	30
3.2.3 <i>Factor de tiempos de parada (ftmpr)</i>	31
3.2.4 <i>Factor de calidad, medio ambiente y seguridad (fmassq)</i>	31
3.3 AMEF	32
3.3.1 <i>Análisis de criticidad de fallo</i>	33
3.4 RCM	33
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	36
4.1 Trabajo programado para la línea.	36
4.2 Indicadores de mantenimiento de los equipos de la línea de producción.	37
4.2.1 <i>Disponibilidad</i>	37
4.2.2 <i>Confiabilidad</i>	38
4.3 Matriz de criticidad por equipo.	44
4.4 RCM Equipos línea de agua potable.	47
4.4.1 <i>AMEF Equipos línea de agua potable</i>	47
4.4.2 <i>Índice de frecuencia</i>	48

4.4.3 <i>Índice de gravedad</i>	49
4.4.4 <i>Índice de detección</i>	49
4.5 Propuesta de actividades de mantenimiento.	52
4.6 Instructivo para la implementación del plan de mantenimiento.	53
4.7 Planeación y programación.	54
5. CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA	58
ANEXOS	60

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. <i>Organigrama Línea de agua potable.</i>	18
Figura 2. <i>Diagrama de flujo línea de agua potable</i>	20
Figura 3. <i>Proceso y descripción de la línea de agua potable.</i>	22
Figura 4. <i>Gráfica de barras con el número total de paradas por máquina.</i>	26
Figura 5. <i>Grafica de barras con el número total de horas de parada por máquina.</i>	26
Figura 6. <i>Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad.</i>	34
Figura 7. <i>Gráfico de barras de la disponibilidad de los equipos.</i>	39
Figura 8. <i>Gráfico de barras de confiabilidad de los equipos.</i>	41
Figura 9. <i>Gráfico de barras de mantenibilidad de los equipos.</i>	42
Figura 10. <i>Paso 1 implementación.</i>	53
Figura 11. <i>Paso 2-6 implementación.</i>	53
Figura 12. <i>Paso 7 implementación.</i>	54

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. <i>Listado de máquinas línea de agua potable</i>	21
Tabla 2. <i>Porcentaje utilización, eficiencia productiva, eficiencia mecánica por mes.</i>	27
Tabla 3. <i>Cálculo valores mínimo y máximo de criticidad de equipo (Ce).</i>	32
Tabla 4. <i>Rangos categoría de criticidad</i>	32
Tabla 5. <i>Actividades programadas en 1 año en la línea de producción.</i>	36
Tabla 6. <i>Funcionamiento total de los equipos.</i>	37
Tabla 7. <i>Calculo disponibilidad de los equipos.</i>	38
Tabla 8. <i>Cálculo confiabilidad de equipos.</i>	40
Tabla 9. <i>Cálculo mantenibilidad de los equipos.</i>	42
Tabla 10. <i>Cálculo MTTR para el factor F_{tmpr}.</i>	44
Tabla 11. <i>Matriz de criticidad de la línea de agua potable.</i>	45
Tabla 12. <i>Índice de frecuencia y criterio.</i>	48
Tabla 13. <i>Índice de gravedad y criterio.</i>	49
Tabla 14. <i>Índice de detección y criterio.</i>	50
Tabla 15. <i>Valor mínimo y máximo que puede tomar el valor NPR.</i>	51
Tabla 16. <i>Matriz de criticidad NPR [17].</i>	51
Tabla 17. <i>Rangos para clasificar el riesgo de falla.</i>	51
Tabla 18. <i>Análisis de planeación de actividades.</i>	55

RESUMEN

Para el desarrollo del proyecto se tiene como objetivo principal el diseño de un plan de mantenimiento en la planta Gaseosas Colombianas Sur (GascolSur) a partir de la metodología de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) dentro de la línea de agua potable y su implementación. Primero es fundamental entender los conceptos técnicos a la hora de diseñar un plan de mantenimiento.

Se comienza con la recopilación de datos de toda el área de mantenimiento encargada de la línea, se establece un periodo de un año, comprendido entre el 1 de agosto del 2021 hasta el 1 de agosto del 2022 para realizar el análisis. Una vez se tienen estos datos se empieza con su organización, ya que hay variables que no se tendrán en cuenta debido a que no afectaron la implementación del RCM. Al definirse los datos de los históricos de los planes de mantenimientos actuales, el número de horas de funcionamiento, número de fallas y tiempos fuera de servicio de los equipos, se implementó el RCM y los cálculos necesarios para un el buen desarrollo.

Como cálculos se tendrá que realizar la determinación de la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad de cada equipo y de la línea en general, para así tener un análisis y un estimado ponderado del estado actual de la línea y que efectos tendrán estos sobre la producción puesto que un dato fundamental a tener en cuenta es que todos los equipos están configurados de forma lineal, es decir, si uno se detiene, la línea completa también se detendría y el objetivo de una línea de producción como la de GascolSur es reducir los tiempos fuera de servicio. Para esto es importante contar con un buen plan de mantenimiento y entender el funcionamiento de las máquinas ya que en lo posible se deben realizar todos los procesos de inspecciones, higienización y demás en las paradas programadas evitando así una detención imprevista de la línea causando pérdidas a la empresa.

Con estos resultados se empieza a diseñar el RCM a través de los 7 pasos para lograr la metodología donde se complementa con el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) a través de una selección de equipos mediante un análisis de criticidad e indicadores de mantenimiento, se diligencia un formato estándar donde se evidencian los criterios mínimos que debe tener la

metodología para ser reconocida como RCM explicando cada paso implementado y desarrollado. Con el formato diligenciado se cumple el objetivo de diseñar el plan de mantenimiento de la línea de agua potable en la planta GascolSur a través de la metodología RCM.

Palabras clave: *Plan de Mantenimiento, RCM, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Taxonomía de equipos, Línea de agua potable, Gaseosas Colombianas.*

INTRODUCCION

El mantenimiento industrial ha venido tomando a lo largo de los años, una importancia vital para la manutención de los activos de las empresas e industrias que se dedican a brindar un bien o servicio a la sociedad; en especial en la industria de alimentos y bebidas donde para ofrecer un producto de consumo humano deben también garantizar una calidad del producto que no afecte la salud de las personas y que cumplan con las normativas establecidas por su gobierno. Tomando esto como punto de partida nace la necesidad de contar con un plan de mantenimiento eficiente donde el objetivo sea mantener en óptimas condiciones los activos de la empresa, reducir costos operacionales, aumentar el volumen y calidad de la producción y volver más eficiente el proceso industrial que se realice[1].

Actualmente con el constante desarrollo tecnológico de la industria, son muchos los factores y puntos que se deben de tener en cuenta para un plan de mantenimiento que dé como resultado una buena producción, alargar la vida útil de los equipos, minimizar costos y finalmente un producto destacable entre la competencia. Para lograr estos objetivos se han desarrollado diferentes técnicas y metodologías de mantenimiento tales como la técnica de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM), mantenimiento productivo total (TPM) y análisis de modo y efecto de falla (AMEF)[2].

También existen alternativas que las empresas toman en consideración para mitigar el impacto negativo de una falla de equipo o dificultades que se estén presentando en el área de mantenimiento, como aumentar el personal para suplir más rápido las labores de mantenimiento lo cual es una solución poco óptima ya que se aumentan los costos en la empresa no solo de mantenimiento sino también de personal y uno de los principales objetivos de estas técnicas de mantenimiento es reducir todos los costos necesarios para aumentar la producción [3].

En una línea de producción donde se tienen a cargo varios equipos con un horario de funcionamiento en su mayoría de 24 horas los 7 días de la semana, es necesario tener un plan de mantenimiento adecuado que logre suplir en su totalidad los servicios que deban realizarle a cada equipo para no afectar negativamente la producción ni los ingresos de la empresa, pues una

parada de emergencia de uno de estos equipos pueden detener la producción haciendo perder mucho dinero a la empresa cada minuto que la línea dure fuera de servicio. El objetivo de diseñar un plan de mantenimiento es establecer unas paradas programadas donde se realicen los servicios y reparaciones necesarios a las máquinas para garantizar una mejor vida útil de los equipos y mitigar los altos costos que habría en una parada de emergencia con un mantenimiento correctivo.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar un plan de mantenimiento en la planta Gaseosas Colombianas Sur a partir de la metodología de mantenimiento RCM dentro de la línea de agua potable.

Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de fuera de servicio no programado de las máquinas de la línea de agua potable y los tiempos de disponibilidad de personal.
- Realizar el análisis de efectos y modos de falla de los equipos de la línea de agua potable a través del análisis del historial de mantenimiento y fallas específicas de los equipos.
- Realizar la planeación para la programación y asignación de frecuencias de los planes de mantenimiento y su instructivo para el cargue del software de mantenimiento de la empresa.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Postobón S.A. es una de las compañías de bebidas más grandes y más antiguas de Colombia [4]. Esta empresa cuenta con un portafolio de más de 35 marcas y 250 referencias, en el cual se destacan las marcas gaseosas Postobón, Colombiana, Pepsi, Breñaña, Hipinto, Popular, Seven Up, Montain Dew, Jugos Hit, Tutti Frutti, Mr. Tea, Agua Cristal, Agua Oasis, ¡H2Oh!, Gatorade, Squash, Peak y Lipton Tea, entre otras [5].

Gaseosas Colombianas Sur (GASCOLSUR), es una planta en la ciudad de Bogotá, que pertenece a la organización Postobón, que a su vez es propiedad de la organización Ardila Lülle, especializada en la fabricación y comercialización de bebidas. Su indiscutible liderazgo se remonta a la formulación y el posicionamiento de marcas propias, que cuentan con una tradición de consumo que llega a los 105 años. La empresa se encuentra ubicada en la TR 72 A # 45 - 52 sur Kennedy Cundinamarca [4].

1.1 Misión

Fortalecer el liderazgo en el desarrollo, producción, mercadeo y ventas de bebidas refrescantes no alcohólicas, para satisfacer los gustos y necesidades de los consumidores, superando sus expectativas mediante la innovación, la calidad y la excelencia en el servicio. Generamos oportunidades de desarrollo profesional y personal apoyándonos en el talento humano organizado en equipos alrededor de los procesos. Trabajamos con los proveedores para convertirlos en nuestros socios comerciales. Contribuimos decisivamente al crecimiento económico de la Organización Ardila Lülle y del País, actuando con responsabilidad frente al medio ambiente y la sociedad [6].

1.2 Visión

Ser una Compañía Multilatina, con operaciones propias en el continente, reconocida por su dinamismo en innovar, desarrollar y ofrecer bebidas no alcohólicas de calidad, penetrando otros mercados e incursionando en otras categorías de producto [6].

En la figura 1 se describe el organigrama del personal de la línea de agua potable donde solo se tiene en cuenta la parte técnica y operativa ya que se enfoca a la realización de actividades que se requieren, en la primera parte se encuentra el personal técnico con capacidades electromecánicas, atendiendo y dirigiendo los mantenimientos o averías de alta prioridad, también comunicando en el área administrativa la necesidad de repuestos y novedades en las actividades o mantenimientos realizados, este personal tiene que estar pendiente de toda la línea en general, hay 1 electromecánico encargado en 8 horas de producción (1 turno), en un día de producción, rotan 3 integrantes de mantenimiento en un día de producción.

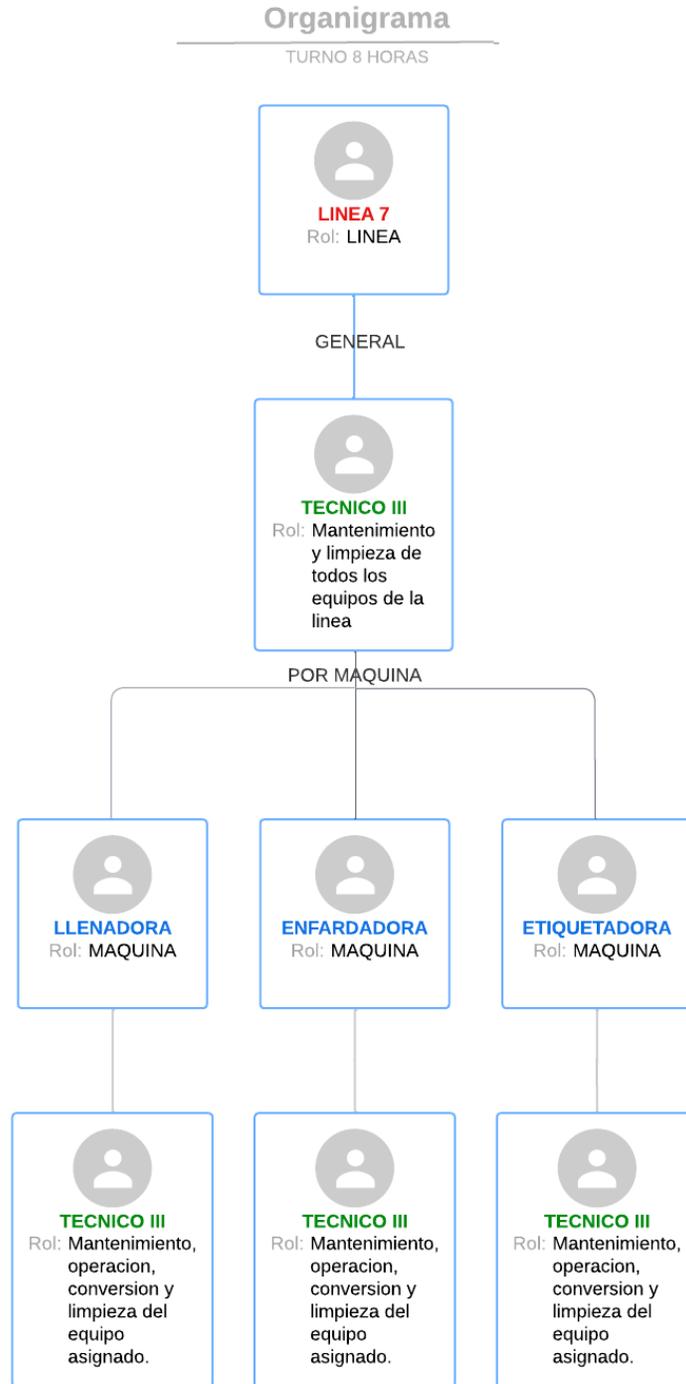
En la línea de agua potable y particularmente en 3 equipos (Llenadora, enfardadora y etiquetadora) se va a tener 1 electromecánico para operar la máquina, ya que, en caso de realizar conversión o modificación en el producto y limpieza de las máquinas, estos son los encargados para ejecutar la actividad, solo deben estar pendientes de los equipos al que fueron asignados, hay 3 electromecánicos encargados en 8 horas de producción en el equipo asignado, en total rotan 9 integrantes de mantenimiento en un día de producción.

Teniendo en cuenta el total de integrantes que participan en la línea de agua potable, hay 12 electromecánicos capacitados para los requerimientos de la empresa.

1.3 Organigrama

Figura 1.

Organigrama Línea de agua potable.



Nota. Organigrama línea de producción agua potable en un turno (8 horas), solamente la parte técnica y operacional.

El proceso inicia cuando ingresa el envase Pet a la primera etapa y es primeramente etiquetado para luego pasar a la sección de llenado y capsulado donde se envasa el producto y pasa a una inspección visual donde se hace control de calidad del producto para pasar a la siguiente etapa que es la codificación en el que se imprime el lote y fecha de vencimiento. Una vez se realiza este proceso el producto pasa a la estación de empacado donde se alista el producto para su distribución; y finalmente pasa a por la paletizadora y sale el producto de la línea.

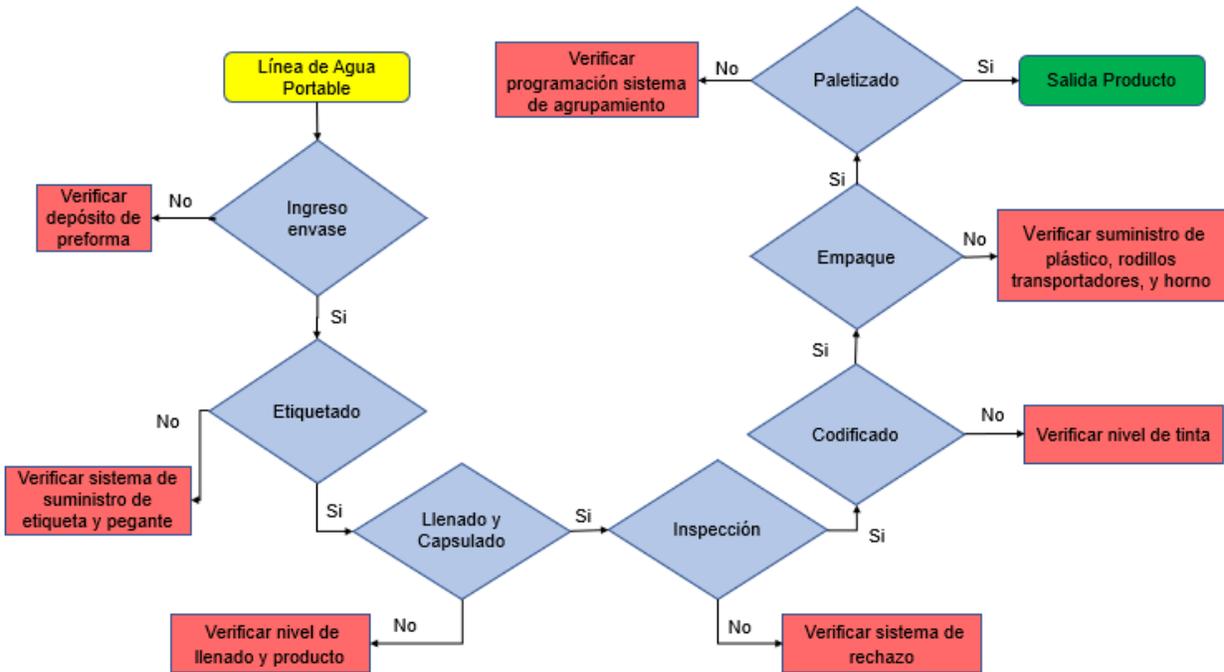
Adicionalmente se cuenta con una zona de pruebas donde el analista de producción toma unas muestras del producto y lo somete a una serie de pruebas para comprobar la calidad del producto.

Y la zona de computación es donde los técnicos de mantenimiento pueden ingresar y ver el historial de mantenimientos de la línea, informar repuestos, características de los equipos. Tal como se observa en la figura 2.

1.4 Descripción proceso línea agua potable

Figura 2.

Diagrama de flujo línea de agua potable



Nota. Diagrama de flujo general de la línea de agua potable.

En la tabla 1 se evidencian los valores más importantes por equipos, en la columna 2 se encuentra el número del equipo relacionado con la empresa, en la columna 3 se encuentra la denominación del equipo asignado por la empresa, en la columna 4 el número de serie del fabricante, en la columna 5 el modelo del equipo asignado por el proveedor y finalmente en la última columna se evidencia la ubicación técnica donde se encuentra ubicado el equipo.

Tabla 1.*Listado de máquinas línea de agua potable*

N°	Equipo	Denominación	N.º-serie fabricante	Modelo	Ubicac.técnica
1	829704	Alimentador de tapa plástica	K110143	SORTING SYSTEM	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
2	589662	Codificador laser de envase	K82046F	VJ 3320	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
3	589686	Codificador línea pet	1523232C23ZH	1620	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
4	710325	Enfardadora	KR96D15	VARIOPAC PRO FS-7	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
5	579081	Envolvedora film plástico	K8241ZM	HELIX 1	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
6	820084	Etiquetadora envolvente	K406303	SOLOMODUL II	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
7	599606	Inspector electrónico envase	K731BBB	CHECKMAT 731 FEM-X+L	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
8	820213	Limpieza por espuma	K202807	BFH FOAMATIC	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
9	519562	Llenadora de botellas pet 48 válvulas	K321794		0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
10	719616	Ozonizador en línea	KW68028	OZONFILT TYPE OZVA 2	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
11	579082	Paletizadora	KR63C89	MODULPAL PRO 2ª	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
12	820304	Sala limpia	K201959	H14	0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
13	829872	Lubricación de transportadores	K995TP9		0011-LINEA PET AGUA ALIGERADA
14	829873	Transportador de producto	K995TP9	SYNCO	

Nota. Esta tabla representa la lista de los equipos que están montados en la plataforma, con el número del equipo que suministra la empresa (columna 2), la denominación del equipo (columna 3), el proveedor (columna 4), modelo (columna 5) y la ubicación técnica (columna 6).

La línea de agua potable está conformada por equipos KRONES, esta compañía se adapta a las necesidades de la industria para optimizar los procesos.

Krones planifica y realiza líneas completas que cubren cada fase individual del proceso de producción empezando por la fabricación de productos y envases hasta el llenado y el embalaje hasta el flujo de materiales y el reciclaje de envases. “No importa qué tarea nos plantea: usted describe la situación y nosotros adaptamos nuestras soluciones perfectamente a las condiciones descritas” [7].

La descripción del proceso se conoce por estaciones o módulos, donde se describirá cada uno en la tabla 2.

Figura 3.

Proceso y descripción de la línea de agua potable.

Proceso	Descripción
	<p>Etiquetado: El envase ingresa por medio de las estrellas de manejo y se transporta por las estrellas de transferencia, simultáneamente en los agregados de la etiquetadora, en los cilindros de transporte de la etiqueta se le agrega el pegante necesario para suministrarlo a la botella, asegurando esta con los cepillos alisadores de etiqueta y así afirmar el pegado.</p>



Llenado: Una vez etiquetado el envase, por medio de las estrellas de transporte, ingresa a la zona de llenado que se caracteriza por su estructura en carrusel y las 48 válvulas de llenado para realizar el proceso, su función es un llenado de dos tiempos, ingresa el agua a baja velocidad para evitar el rebose del producto, enseguida acciona e inyecta el restante de producto a alta velocidad, completando así el nivel de llenado requerido por la compañía, enseguida se transporta a un segundo carrusel donde se suministra la tapa al envases por medio de boquillas capsuladoras, en este proceso también se realiza dosificación de nitrógeno para condicionamiento físico del envase para finalmente continuar al proceso de inspección.



Inspección: En la primera etapa del proceso de inspección, el producto pasa por un inspector de alturas para comprobar el estado del envase, enseguida se transporta en medio de cámaras infrarrojas para detectar anomalías en la tapa, finalmente se transporta por sensores de llenado para verificar que se tenga el nivel de producto requerido por la empresa.



Codificado: Comprobando que el producto este en buenas condiciones este pasa por un codificador que inyecta tinta a la botella marcando el lote de producción y la fecha de vencimiento del producto.



Empaque: El producto por medio de los transportadores se acumula para ingresar al proceso de empaque, tiene enfiladores para posicionar la botella a conveniencia de la máquina, a su vez por medio de unos separadores arrastra el paquete de producto que se va a empacar, por medio de unos rodillos que transporta el plástico, agrupando las botellas y finalmente metiéndolas al horno para finalizar el proceso.



Paletizado: En el proceso de paletizado empieza en un equipo llamado ROBOBOX, este equipo está programado para posicionar los paquetes de producto y organizarlos de tal manera que puedan armar una fila de producto, enseguida se dirige a unas guías y un elevador para armar completamente el paletizado del producto, y por medio de la estiba se transporta para su almacenamiento.

Nota. La figura representa la descripción del proceso de la línea de agua potable, detallando especificaciones del proceso junto a la vista general de la zona de producción.

2. DIAGNÓSTICO

En Gaseosas Colombianas Sede Sur, en donde se realiza la producción a gran escala de bebidas como, jugos, gaseosas y agua, es de necesidad tener un área de mantenimiento con ciertas funciones para cumplir todos los requerimientos. En el presente caso de estudio se analizará el diagnóstico actual del plan con las actividades, tiempos perdidos por falla o reparaciones, eficiencias mecánicas y las actividades de mantenimiento para la línea de agua potable.

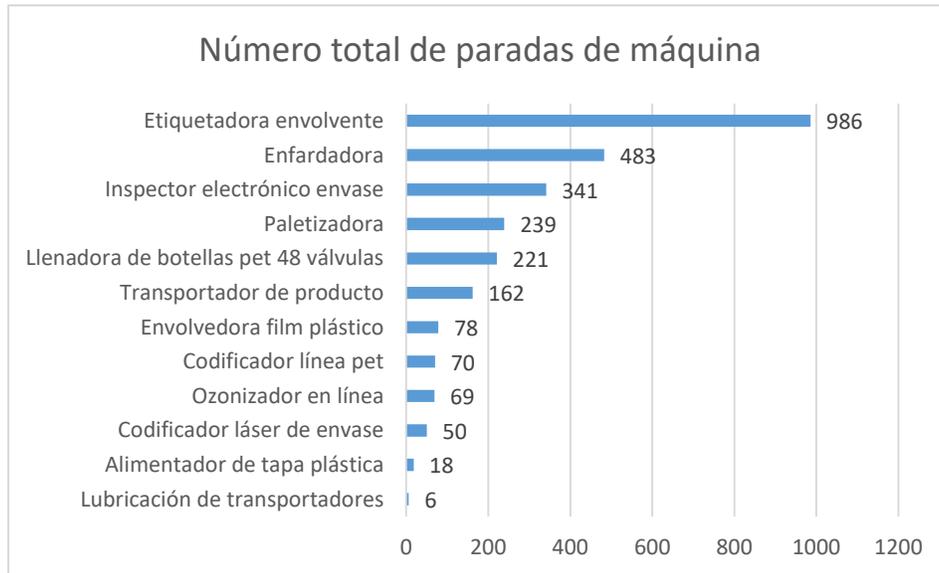
El software actual empleado por la compañía es SAP (Systemanalyse Programmentwicklung) “SAP es uno de los principales productores mundiales de software para gestión de procesos de negocio, y desarrolla soluciones que facilitan el procesamiento eficaz de datos y el flujo de información entre las organizaciones” [8], donde primero se suministra la información básica de los equipos para registrarlos en la plataforma, de esta manera se abren opciones en el programa para modificación de la información de cada uno de los equipos, en donde se diligencia el plan de mantenimiento de acuerdo a los requerimientos, también características de operación, como el tipo de actividad de mantenimiento y la frecuencia, donde se programa un ciclo para el comienzo de la actividad seleccionada, cuando se cumpla la frecuencia de una actividad, se genera un número de orden donde se expone la actividad a realizar, en este caso, el técnico de mantenimiento selecciona la actividad y libera la orden para saber que la actividad se va a realizar y está en curso, cuando culmine la actividad, notificara la orden, así todas las actividades que se programen se podrán analizar en un indicador de ejecución de las actividades de mantenimiento.

En esta herramienta como ya se mencionó, almacena los datos necesarios para el análisis de varios procesos y variables donde también quedan registrados el número total de fallas que hay en un equipo en un período determinado, junto con el tiempo que se tarda en corregir esta falla.

De acuerdo con los datos obtenidos en SAP se analizaron 5856 datos a lo largo del periodo comprendido entre el 1 de agosto del 2021 hasta el 1 de agosto del 2022, donde se representan los valores de fechas de avería, tiempos de parada en horas, razón de la falla, el nombre del equipo en cual se presentó dicha falla, operario encargado y la acción correctiva; donde se relacionó la denominación del equipo, el número total de averías y el tiempo total de paradas que presentó cada equipo evidenciado en la figura 4 y figura 5.

Figura 4.

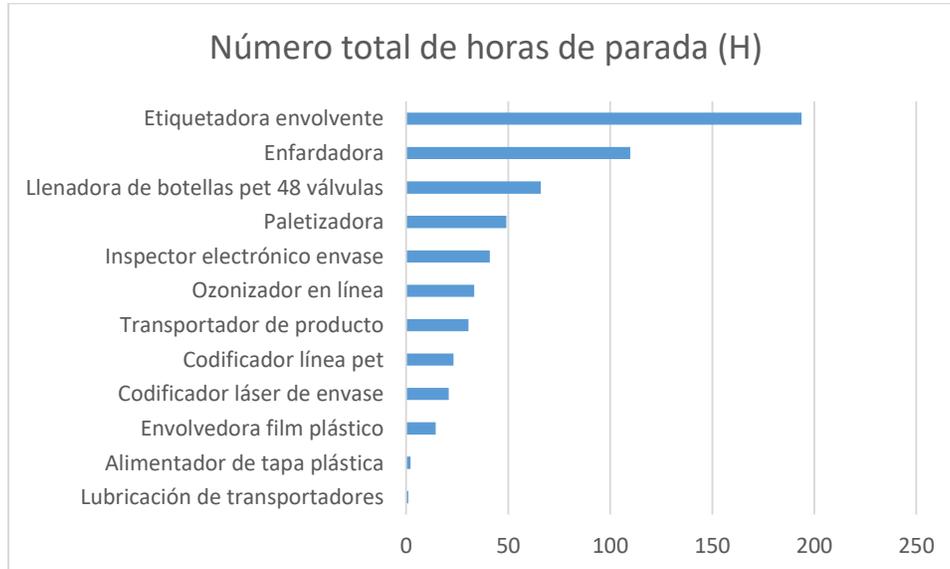
Gráfica de barras con el número total de paradas por máquina.



Nota. La gráfica representa el número total de paradas desde el 01/08/2021 hasta el 01/08/2022 por máquina en la línea de agua potable.

Figura 5.

Gráfica de barras con el número total de horas de parada por máquina.



Nota. La grafica representa el número total de paradas desde el 01/08/2021 hasta el 01/08/2022 por máquina en la línea de agua potable.

Cuando la máquina está en operación y entra en falla, se tiene que realizar una actividad correctiva de mantenimiento, donde también el técnico de mantenimiento es el encargado de crear una orden para la máquina donde ocurrió el fallo, describiendo las características y el

tiempo de reparación de la falla, todos estos datos quedan registrados en la base de datos de la plataforma.

A su vez con los datos registrados se puede analizar el historial de las eficiencias productivas, porcentaje de utilización de línea, y la más importante y la que más se tendrá en cuenta para el análisis es la eficiencia mecánica.

Tabla 2.

Porcentaje utilización, eficiencia productiva, eficiencia mecánica por mes.

Eficiencias	Porcentaje utilización línea (%)	Porcentaje eficiencia productiva (%)	Porcentaje eficiencia mecánica (%)
ago-21	73,00	87,45	93,86
sep-21	55,23	77,41	87,26
oct-21	74,81	81,28	85,67
nov-21	72,57	82,43	86,65
dic-21	73,30	78,52	85,50
ene-22	66,11	84,54	88,71
feb-22	69,49	82,37	87,16
mar-22	79,30	87,07	91,10
abr-22	78,91	85,08	89,69
may-22	78,41	83,62	87,56
jun-22	78,82	84,52	88,27
jul-22	73,04	78,53	84,86

Nota. La tabla representa los datos obtenidos en el historial, donde se hace énfasis en los datos de eficiencia mecánica desde agosto del 2021 hasta julio del 2022.

El porcentaje de utilización de línea representa la capacidad de producción y gestión total que se obtuvo en el mes y se relaciona con el potencial que se pudo obtener si la línea rindiera al máximo, teniendo en cuenta, insumos y tiempo de operación de la línea.

Es un indicador fundamental para calcular la eficiencia de uso y gestión de los recursos de la empresa, sin embargo, en el presente análisis no tendrá participación ya que se miden agentes externos al área de mantenimiento, puede señalar, por un lado, el uso ineficiente de los recursos de la producción; y por el otro lado, el uso excesivo.

El porcentaje de eficiencia productiva representa la capacidad de producción total en cuanto al producto y se relaciona con el objetivo programado en el mes, teniendo en cuenta la eficiencia en programación y paradas autorizadas para pruebas y revisión del producto, lo que sigue sin afectar en el área de mantenimiento, únicamente se mide en el área de producción y calidad.

El porcentaje de eficiencia mecánica representa la capacidad de producción en equipos de maquinaria y se relaciona con la producción esperada, para analizar en el proyecto el más importante, ya que tiene en cuenta el trabajo o la capacidad de los equipos de la línea de producción y como interviene cada equipo en el proceso, si las averías en los equipos aumentan en el mes, deteniendo la producción esperada del producto, este se verá reflejado en la eficiencia mecánica.

Se destaca el indicador en el mes de agosto del año 2021, nos indica 93,86% de eficiencia mecánica, el más alto en el tiempo analizado, esto hace referencia a que fue el mes en el que mejor trabajaron los equipos de maquinaria en la línea de producción de agua potable, sin embargo, este se debería comportar así a lo largo del año ya que los objetivos deben superar el 90%, lo que es un problema, ya que solo en 2 meses de los diagnosticados se llega al valor esperado.

También se resaltan los últimos 4 meses, ya que, desde marzo del año presente donde se obtuvo el segundo indicador mayor, disminuyo este indicador significativamente, hasta que en el mes de junio llego al valor más bajo de los analizados representando el 84,86%, esto nos indica a que hay un crecimiento de averías en las máquinas y por consiguiente afectando la producción del producto y los costos de la compañía, lo que requiere un plan de acción para mejorar este indicador. Tal como se observa en la tabla 2.

3. SELECCIÓN DE METODOLOGÍA

Partiendo de la problemática que presenta la línea de agua potable de GascolSur con respecto a los planes de mantenimiento actuales de los equipos, los ingenieros de mantenimiento plantearon la posibilidad de implementar una estrategia para mitigar las falencias que se han presentado, por tal motivo GascolSur solicito aplicar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para diseñar un plan de mantenimiento que cumpla los criterios de esta metodología.

3.1 Indicadores de mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento son datos numéricos que permiten tener un conocimiento acerca de la gestión de mantenimiento que se está realizando sobre una máquina, dependiendo de la evolución de estos valores se puede tomar decisiones con respecto al programa de mantenimiento aplicado [9].

En el presente caso, los indicadores de mantenimiento se realizarán de acuerdo a los datos obtenidos durante el periodo a analizar, que es desde el 01/08/2021 hasta el 01/08/2022.

3.1.1 Disponibilidad

La disponibilidad se define en términos matemáticos, mediante el índice de la disponibilidad, como la probabilidad de que un equipo o sistema sea operable satisfactoriamente a lo largo de un periodo de tiempo dado. La disponibilidad depende de la confiabilidad y de la mantenibilidad. Tener como objetivo una alta disponibilidad, significa reducir al máximo el número de paradas para obtener una operación exitosa, económica y rentable [9].

En la Ec. 1 se observa la fórmula para determinar la disponibilidad.

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ paradas\ de\ mantenimiento}{Horas\ Totales} \quad (1)$$

3.1.2 Mantenibilidad.

Es la probabilidad que se tiene de reparar una maquina en un periodo de tiempo determinado y después de haber tenido una falla funcional, para este indicador se necesitan datos como tiempo de reparación y numero de fallas [9].

En la Ec. 2 se observa la fórmula para determinar la mantenibilidad.

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{\text{Tiempo de inactividad total por fallas}}{\text{Número de fallas}} \quad (2)$$

3.1.3 Confiabilidad.

Es la probabilidad de que una máquina no falle durante un periodo de tiempo determinado, para este indicador se necesitan datos como horas en operación, tiempos de reparación y número de fallas [9].

En la Ec. 3 se observa la fórmula para determinar la confiabilidad.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallas}} \quad (3)$$

3.2 Matriz de criticidad.

La matriz de criticidad juega un papel importante en la industria, y es a través de ella que es posible priorizar las acciones de mantenimiento, siempre con el objetivo de asegurar un correcto funcionamiento y más cercano a la normalidad [10].

En este caso la empresa suministra información suficiente junto con los 4 factores a tener en cuenta para definir la criticidad de los equipos de la línea de agua potable, el objetivo de esta actividad es seleccionar los equipos con la criticidad más alta para proceder a utilizar la estrategia de mantenimiento de acuerdo a las necesidades de la compañía.

3.2.1 Factor de producción (fp)

En GascolSur se estableció tres factores de producción en función a la gravedad y consecuencia de la avería de la máquina.

Bajo → parada de maquina (fp = 1)

Medio → parada de línea (fp = 5)

Alto → parada de planta (fp = 7)

3.2.2 Factor de costos operativos (fc)

GascolSur establece que el costo operativo se obtiene del historial de consumo de repuestos y el historial de ordenes de trabajo. Está compuesto por el consumo anual de materiales y las horas

hombre de mantenimiento correctivo - preventivo. En caso de no tener datos se estima con base al valor del equipo y de sus repuestos.

Bajo → costo operativo medio anual < USD 5000 (fc = 1)

Medio → costo operativo medio anual \geq USD 5000 y \leq USD 15000 (fc = 2)

Alto → costo operativo medio anual > USD 15000 (fc = 3)

3.2.3 Factor de tiempos de parada (*ftmpr*)

GascolSur establece que el factor de tiempos de parada se define por medio del tiempo medio para la reparación que se obtiene del historial de fallas. Si no se posee información se estima con base a complejidad técnica que posea el equipo.

Bajo → tiempo medio para la reparación < 1h (fc = 0,5)

Medio → tiempo medio para la reparación \geq 1h y \leq 2h (fc = 1)

Alto → tiempo medio para la reparación > 2h (fc = 1,5)

3.2.4 Factor de calidad, medio ambiente y seguridad (*fmassq*)

- Bajo → la falla no genera ningún riesgo de calidad, seguridad o medio ambiente (fmass = 1)
- Medio → la falla genera defectos de calidad en el producto, riesgo para las personas cercanas al equipo y/o un riesgo de accidente medioambiental leve (fmass = 4)
- Alto → la falla provoca un riesgo de contaminación en el producto, un riesgo de seguridad inminente para la planta, un riesgo de accidente medioambiental grave y/o está ligado a requerimientos legales (fmass=7)

Pueden usarse factores intermedios entre bajo y alto en caso de ser necesario.

Teniendo en cuenta todos estos factores, se procede a calcular la criticidad del equipo (C_e).

Según GascolSur la criticidad de los equipos se define como el producto de la suma entre el

factor de producción con el factor de costos por el factor de tiempos de parada sumado al factor de calidad, medio ambiente y seguridad.

En la Ec. 4 se observa la fórmula para determinar la criticidad de equipos.

$$\text{CRITICIDAD EQUIPOS (Ce)} = (Fp + Fc) * Ftmpr + Fmassq \quad (4)$$

Después de obtener el factor de criticidad de cada equipo, se clasifican en valores mínimos y máximos para establecer rangos. Tal como se observa en la tabla 3.

Tabla 3.

Cálculo valores mínimo y máximo de criticidad de equipo (Ce).

	Fp	Fc	Ftmpr	Fmassq	Ce (fp + fc) x ftmpr + fmassq	Criticidad
Mínimo valor	1	1	0,5	1	2,0	Baja
Máximo valor	7	3	1,5	7	22,0	Alta

Nota. En la tabla se muestra los factores mínimos y máximos a tener en cuenta para calcular el valor mínimo y máximo de la criticidad del equipo.

En la tabla se muestra las 3 categorías de criticidad y los rangos que se les asigna a cada una de ellas según GascolSur.

Tabla 4.

Rangos categoría de criticidad

Alta	$15 > Ce > 22$
Media	$8 < Ce \leq 15$
Baja	$2 < Ce \leq 8$

3.3 AMEF

El AMEF es una herramienta de análisis eficaz que ayuda a detectar problemas potenciales y sus efectos dentro del diseño de un producto o servicio o procesos de fabricación y ensamblaje.

Tiene como fin prevenir los problemas y sus efectos negativos, así como facilitar estrategias para eliminarlos.

El Análisis del modo y efectos de falla es un concepto clave en la implantación y/u optimización de un plan de mantenimiento preventivo. El AMEF es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación que determina la gravedad y el efecto de los fallos en un sistema/equipo [11].

Ventajas del AMEF

- Identificar las posibles fallas de la máquina.
- Conocer a fondo el funcionamiento de la máquina.
- Identificar las causas de las fallas.
- Aumentar la disponibilidad de la máquina [9].

3.3.1 Análisis de criticidad de fallo

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades de ocurrencia de fallas y sus consecuencias asociadas. Ambas magnitudes, frecuencias de fallas y consecuencias están dirigida a la mitigación de los riesgos de falla de los equipos [18].

En otras palabras, gracias al análisis AMEF se pudo valorar la criticidad de un fallo y el grado de afectación al proceso productivo. También ayudará a determinar las prioridades sobre las diferentes tareas de mantenimiento [11].

3.4 RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en ingles Reliability Centered Maintenance) es una técnica de organización de las actividades y de gestión del mantenimiento para desarrollar programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos. El RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en que la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga [12].

Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo [13].

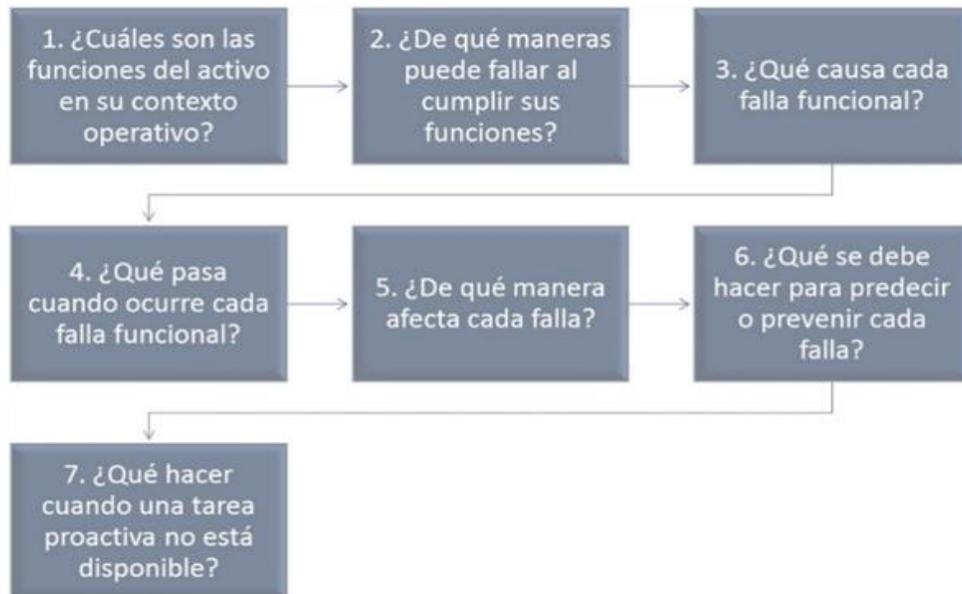
Actualmente la técnica RCM es utilizada en muchas industrias del mundo no solo para identificar tareas de mantenimiento y como marco de referencias para analizar los riesgos de los equipos, clasificar los componentes de acuerdo a su importancia para el mantenimiento o identificar áreas de mejora. También se puede mejorar la técnica RCM combinándola con otras técnicas tales como mantenimiento radical, mantenimiento basado en la condición y el proceso de jerarquía analítica [13].

La norma SAE JA 1011 establece los criterios mínimos que debe cumplir un plan de mantenimiento para ser considerado RCM; en cualquier proceso de RCM debe asegurarse de responder satisfactoriamente en secuencia las preguntas que se muestran en la norma [13].

Como se ilustra en la figura 6.

Figura 6.

Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad [13].



Nota. La figura refleja la línea de proceso que se debe seguir para implementar la estrategia de mantenimiento.

La planificación del mantenimiento es esencial en cualquier industria, puesto que al tener las maquinas en óptimas condiciones garantiza una buena producción de producto y ganancias para una empresa. Para un buen plan de mantenimiento se deben tener en cuenta varios factores como el trabajo real, instrucciones de la máquina, calendarios, trabajadores, piezas de repuesto, proveedores y recomendaciones del fabricante. Contar con un buen plan de mantenimiento reduce los costos de mantenimiento correctivo, optimiza los tiempos de producción reduciendo los tiempos de parada y por último aumenta la rentabilidad. [14]

4. ANÁLISIS DE DATOS DEL MANTENIMIENTO ACTUAL.

4.1 Trabajo programado para la línea.

La línea de agua potable de la planta GascolSur está programada para trabajar 24 horas al día por 7 días a la semana, y tiene una serie de equipos que, a lo largo de toda la línea que cumplen con su objetivo de producir botellas de agua potable en grandes cantidades por minuto (40.000 BPM). Para lograr este objetivo los equipos deben cumplir un plan de mantenimiento que dependiendo de su criticidad estos equipos deben tener intervenciones más frecuentes o de mayor complejidad.

De las 8760 horas que tiene un año, 96 horas equivalentes a 4 días fueron para mantenimiento mayor que corresponden a las actividades complejas que requieren de un mayor tiempo de ejecución, 288 horas son para inventario, 192 horas son las ventanas de mantenimiento que es el tiempo disponible para realizar los mantenimientos programados con un previo acuerdo entre las áreas de producción y mantenimiento; y finalmente 104 horas son destinadas para la higienización de la línea lo cual esto se distribuye en las 52 semanas del año como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.

Actividades programadas en 1 año en la línea de producción.

	Programación	Duración (H)
Mtto. Mayor	4 Días	96 Horas
Inventarios	1 Día/mes	288 Horas
Ventanas de Mtto.	16 Horas/mes	192 Horas
Higienización	52 Semanas	104 Horas
	Total	680 Horas

Nota. La tabla ilustra las actividades programadas para la línea junto con el tiempo total de producción al año.

Durante el periodo del 1 de agosto del 2021 al 1 de agosto del 2022, la línea trabajó un total de 8080 horas descontando los tiempos fuera de servicio por mantenimientos preventivos y correctivos como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Funcionamiento total de los equipos.

Funcionamiento año	8760 Horas
Paradas programadas	680 Horas
Total Funcionamiento	8080 Horas

Nota. La tabla ilustra el tiempo total de funcionamiento de la línea teniendo en cuenta las paradas programadas.

4.2 Indicadores de mantenimiento de los equipos de la línea de producción.

En el listado de equipos de la línea de producción se cuenta con 14 equipos registrados, pero para el análisis de los indicadores que se va a realizar no se van a tener en cuenta 2 de los 14 equipos, los cuales son:

- (820213) LIMPIEZA POR ESPUMA
- (820304) SALA LIMPIA

No se seleccionan porque estos 2 equipos no se tienen registros de datos de falla, estos equipos se consideran complementarios al momento del funcionamiento y no se consideran de gran importancia en la línea.

4.2.1 Disponibilidad esperada de la línea de agua potable.

Con los datos obtenidos anteriormente se van a calcular los indicadores de mantenimiento, primero la disponibilidad esperada de la línea de agua potable, con este se va saber el porcentaje de disponibilidad en el año de las máquinas de la línea de producción, utilizando la ecuación 1 mencionada anteriormente,

$$\text{Disponibilidad} = \frac{8760 - 680}{8760} = 92,23\% \quad (5)$$

Se analiza primero la disponibilidad de la línea de forma general, es decir, tomando en cuenta todos los factores de paradas programadas ya sean para mantenimientos preventivos,

higienización de la línea, inventario e inspección. Para esto se toma en cuenta la definición de disponibilidad y con la fórmula se determina un factor de disponibilidad de la línea del 92%, este valor es un buen porcentaje para el nivel de servicio que tienen estos equipos [2].

4.2.2 Disponibilidad por equipo

Teniendo en cuenta la disponibilidad esperada de la línea en general, se realiza el cálculo de la disponibilidad por equipos, se utiliza la misma fórmula, ecuación 1, sin embargo, se tiene en cuenta la cantidad de horas totales de falla que se obtuvo por equipo.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{8080 - \text{Horas totales de falla del equipo}}{8080} \quad (6)$$

Tabla 7.

Calculo disponibilidad de los equipos.

Denominación del equipo	Tiempo total de funcionamiento (Horas)	Horas totales de falla	Disponibilidad
Etiquetadora envolvente	8080	193,82	97,60%
Enfardadora		109,79	98,64%
Llenadora de botellas pet 48 válvulas		65,89	99,18%
Paletizadora		49,04	99,39%
Inspector electrónico envase		40,96	99,49%
Ozonizador en línea		33,36	99,59%
Transportador de producto		30,59	99,62%
Codificador línea pet		23,12	99,71%
Codificador laser de envase		20,85	99,74%
Envolvedora film plástico		14,46	99,82%
Alimentador de tapa plástica		2,18	99,97%
Lubricación de transportadores		1,06	99,99%

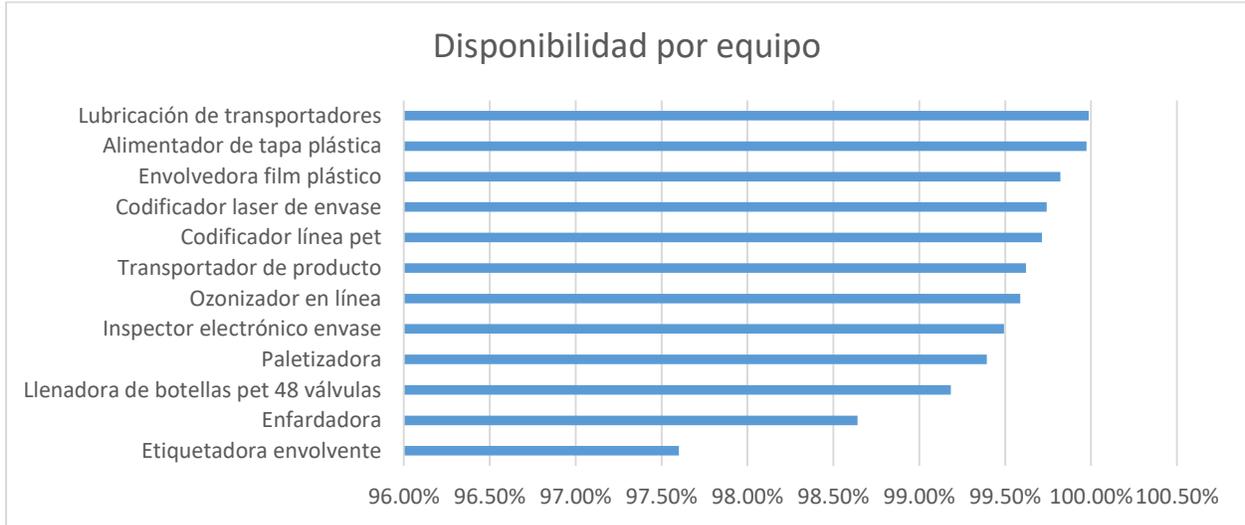
Nota. En la tabla se reflejan los datos a tener en cuenta para el cálculo de disponibilidad y el resultado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, los equipos con menos disponibilidad con diferencia son; Etiquetadora envolvente y Enfardadora ya que las horas totales de falla son mayores a 100 y por lo tanto su disponibilidad es menor al 99% como se

evidencia en la Tabla 7, y teniendo en cuenta la superioridad del indicador de los otros equipos, este se considera bajo.

Figura 7.

Gráfico de barras de la disponibilidad de los equipos.



Nota. El grafico representa los datos de disponibilidad obtenidos de cada equipo en la línea de producción

A continuación, se calculará la confiabilidad de cada equipo ya que esta depende del número de fallas de cada equipo, como se demostró en la ecuación 2 y se calcula en la ecuación 7:

$$Confiabilidad = \frac{8080 \text{ Horas o } 336,67 \text{ Dias}}{\text{Número de fallas por cada equipo}} \quad (7)$$

Se organizan los datos teniendo en cuenta el equipo, el número de fallas por equipo, el tiempo total de funcionamiento calculado anteriormente y el cálculo de confiabilidad designado en días esto para facilidad de comprensión al momento de analizar los datos. Para una mejor comprensión se organizan los datos de forma ascendente denotando los equipos con menor valor de confiabilidad.

Tabla 8.*Cálculo confiabilidad de equipos.*

Denominación del equipo	Número de fallas	Tiempo total de funcionamiento (días)	Confiabilidad (días)
Etiquetadora envolvente	986	336,67	0,34
Enfardadora	483		0,70
Inspector electrónico envase	341		0,99
Paletizadora	239		1,41
Llenadora de botellas pet 48 válvulas	221		1,52
Transportador de producto	162		2,08
Envolvedora film plástico	78		4,32
Codificador línea pet	70		4,81
Ozonizador en línea	69		4,88
Codificador laser de envase	50		6,73
Alimentador de tapa plástica	18		18,70
Lubricación de transportadores	6		56,11

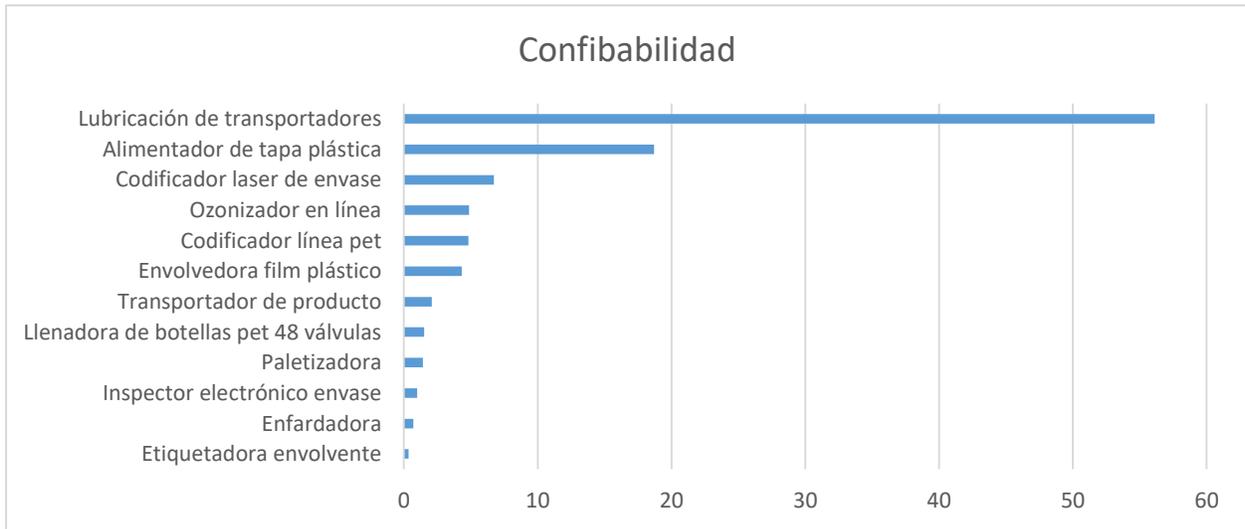
Nota. En la tabla se reflejan los datos a tener en cuenta para el cálculo de confiabilidad y el resultado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, los equipos con mayor confiabilidad con diferencia son; lubricación de transportadores y alimentador de tapa plástica ya que solo fallaron 6 y 18 veces respectivamente en todo el periodo donde se analizaron los datos, por esta razón el equipo de lubricación de transportadores no se tuvo en cuenta en la gráfica de barras, para lograr una relación con los otros equipos y así tener una desviación de datos menor.

El análisis de confiabilidad también dice que hay varios equipos que en el año acumularon más de 100 paradas lo que indica que al menos cada 2 días están fallando estos equipos, unos con confiabilidad extremadamente baja, siendo la etiquetadora envolvente el equipo que menor confiabilidad, teniendo en cuenta el valor de confiabilidad en horas, este equipos en promedio estaría fallando cada 8.16 horas, lo que es alarmante ya que equivale a un turno normal del personal de la empresa, por lo que se debe tener medidas para aumentar la confiabilidad. Tal como se observa en la figura 8.

Figura 8.

Gráfico de barras de confiabilidad de los equipos.



Nota. El grafico representa los datos de confiabilidad obtenidos de cada equipo en la línea de producción

A continuación, se calculará el último de los 3 indicadores, mantenibilidad, el cual se espera que indique la media de reparación de falla, y en qué equipo la falla puede ser más compleja en el momento de falla, esto teniendo en cuenta la ecuación 3 mencionada anteriormente [15].

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{\text{Tiempo total de parada de cada equipo}}{\text{Número de fallas por cada equipo}} \quad (8)$$

Se organizan los datos teniendo en cuenta el equipo, el número de fallas por equipo, el tiempo total de inactividad y el cálculo de mantenibilidad designado en horas esto para facilidad de comprensión al momento de analizar los datos, organizándolos de forma ascendente denotando los equipos con menor valor de mantenibilidad como se refleja en la tabla 10.

Tabla 9.

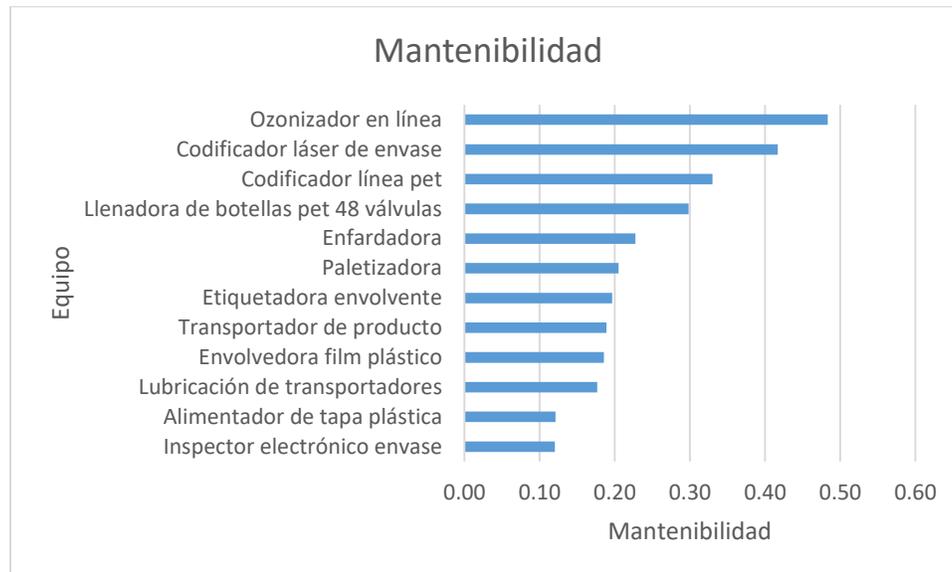
Cálculo mantenibilidad de los equipos.

Denominación del equipo	Tiempo de inactividad total por fallas (h)	Número de fallas	Mantenibilidad
Inspector electrónico envase	40,96	341	0,12
Alimentador de tapa plástica	2,18	18	0,12
Lubricación de transportadores	1,06	6	0,18
Envolvedora film plástico	14,46	78	0,19
Transportador de producto	30,59	162	0,19
Etiquetadora envolverte	193,82	986	0,20
Paletizadora	49,04	239	0,21
Enfardadora	109,79	483	0,23
Llenadora de botellas pet 48 válvulas	65,89	221	0,30
Codificador línea pet	23,12	70	0,33
Codificador laser de envase	20,85	50	0,42
Ozonizador en línea	33,36	69	0,48

Nota. En la tabla se reflejan los datos para tener en cuenta en el cálculo de la mantenibilidad de los equipos.

Figura 9.

Gráfico de barras de mantenibilidad de los equipos.



Nota. El gráfico representa los datos de mantenibilidad obtenidos de cada equipo en la línea de producción

La mantenibilidad de cada equipo de la línea es variable, esto quiere decir que hay equipos que requieren de una mayor atención por parte del área de mantenimiento o que requieren más labores de mantenimiento. Los equipos con mayor mantenibilidad son el ozonizador en línea, el codificador láser y codificador línea pet; lo cual determina que estos equipos requieren de un seguimiento constante, de unas acciones preventivas y correctivas (en dado caso) mucho más laboriosas o de mucha más atención para que no ocurra una parada de emergencia de la línea y afectar la producción.

Tal como se observa en la figura 9, para la línea de agua potable hay que tener un constante monitoreo de los equipos, unos más que otros como por ejemplo la etiquetadora envolvente es el equipo con mayor número de fallas, mayor número de horas fuera de servicio y tiene una mantenibilidad de 0,20 lo que quiere decir que es un equipo que requiere mayor esfuerzo por parte de los operarios de mantenimiento para poder tener la maquina en óptimas condiciones según lo planeado. Otro ejemplo que se evidencia y es un buen caso de análisis es la lubricación de transportadores que fue el equipo con menos fallas durante el periodo de análisis y menos tiempo fuera de servicio obtuvo, pero con una mantenibilidad de 0,18. Entonces porque al ser el equipo más confiable de la línea tiene una mantenibilidad casi igual al de la etiquetadora envolvente? Esto se da debido a que tiene labores de mantenimiento casi igual de complejas pero la diferencia es que las fallas son de más fácil solución que el de la etiquetadora por lo tanto estas soluciones pueden llegar a ocupar un gran número de personal, pero por menos tiempo dando así una pronta solución a las fallas presentadas.

Al igual que este se pueden evidenciar casos donde los equipos con más o menos números de fallas tienen una mantenibilidad casi igual o mayor o menor, esto debido a que las fallas son demasiado complejas y ocupan gran número de personal para solucionarlos o que son fallas más sencillas y rápidas pero que ocupan casi el mismo número de personal que las más complejas. Para esto es importante comprender el funcionamiento de la línea y llevar trazabilidad de los mantenimientos; optimizar los procesos y la línea reduciendo costos y tiempos fuera de servicio reduciendo acciones correctivas.

4.3 Matriz de criticidad por equipo.

El único factor que se calcula para la matriz de criticidad con los criterios considerados por GascolSur es el tiempo medio para la reparación (Ftmpr) ya que los otros factores tienen criterios de análisis de producción y no depende de un cálculo numérico como en este caso, este valor se calcula como el MTTR en mantenimiento general, que es el tiempo medio necesario para reparar las averías del equipo hasta que este vuelva a un estado plenamente funcional, se calcula con la siguiente formula:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Numero de reparaciones}} \quad (9)$$

Con los datos de los equipos se toman los valores correspondientes a la suma de los tiempos de reparaciones y el número de reparaciones que han tenido para calcular el MTTR de cada equipo y realizar un análisis. Como se evidencia en la tabla 11.

Tabla 10.

Cálculo MTTR para el factor Ftmpr.

Denominación	suma total tiempos (H)	Reparaciones	MTTR
Llenadora de botellas pet 48 válvulas	65,89	221	0,30
Envolvedora film plástico	14,46	78	0,19
Paletizadora	49,04	239	0,21
Codificador laser de envase	20,85	50	0,42
Codificador línea pet	23,12	70	0,33
Inspector electrónico envase	40,96	341	0,12
Enfardadora	109,79	483	0,23
Ozonizador en línea	33,36	69	0,48
Etiquetadora envolvente	193,82	986	0,20
Alimentador de tapa plástica	2,18	18	0,12
Lubricación de transportadores	1,06	6	0,18
Transportador de producto	30,59	162	0,19

Nota. En la tabla se representan los valores para resolver el valor de MTTR.

Con estos valores se categoriza los factores para los tiempos de parada, particularmente todos los datos nos dan un factor bajo ya que todos los tiempos medios de reparación son menores a 0,5 lo que da como resultado en el factor Ftmpr para todos los equipos se designa en 0,5.

Para el cálculo de la criticidad de cada equipo se tiene en cuenta los factores y asignando a este valor la categoría de criticidad de acuerdo con las políticas de la empresa para manejo de datos a terceros no es posible mostrar el valor del costo de mantenimiento, aunque si se tiene en cuenta para efectuar el cálculo, como se evidencia en la tabla 11.

Tabla 11.

Matriz de criticidad de la línea de agua potable.

Denominación del objeto técnico	Valor del mantenimiento anual [COP]	CRITICIDAD DE EQUIPOS					Categoría de criticidad
		Fp (producción)	Fc (costos)	Ftmp (paradas)	Fmass (ambiental)	Ce	
Llenadora de botellas pet 48 válvulas		5	3	0,5	7	11	MEDIA
Enfardadora		5	3	0,5	7	11	MEDIA
Paletizadora		5	2	0,5	7	10,5	MEDIA
Etiquetadora envolvente		5	2	0,5	7	10,5	MEDIA
Inspector electrónico envase		5	1	0,5	7	10	MEDIA
Alimentador de tapa plástica		5	1	0,5	7	10	MEDIA
Ozonizador en línea		1	2	0,5	7	8,5	MEDIA
Envolvedora film plástico		1	1	0,5	7	8	BAJA
Codificador laser de envase		1	1	0,5	7	8	BAJA
Codificador línea pet		1	1	0,5	7	8	BAJA
Limpieza por espuma		1	1	0,5	7	8	BAJA
Sala limpia		1	1	0,5	7	8	BAJA
Lubricación de transportadores		5	1	0,5	4	7	BAJA
Transportadores de producto		5	1	0,5	1	4	BAJA

Nota. En la tabla se representan los valores calculados teniendo en cuenta los factores suministrados por Postobon.

A partir de los análisis que se han realizado, para aumentar la confiabilidad de los equipos, se aplicará una herramienta como complemento al RCM, esta es el AMEF, análisis de modos y efectos de falla, ya que teniendo en cuenta los indicadores y valores obtenidos, además dar una vista general a los equipos de la línea, hay 6 equipos que se van a seleccionar dadas sus condiciones actuales de funcionamiento:

- A. ETIQUETADORA ENVOLVENTE: Este es un equipo que se catalogó como de atención prioritaria ya que según los análisis obtenidos es de los equipos que se consideran de criticidad media y en el indicador de confiabilidad es el equipo que menos confiabilidad tiene, fallando en promedio cada 8,16 horas.
- B. ENFARDADORA: Este equipo también es considerado de atención prioritaria ya que según los análisis obtenidos es de los equipos que se consideran de criticidad media además de ser de los 2 equipos que mayor valor de criticidad tienen (11) y en el indicador de confiabilidad es segundo equipo que menos confiabilidad tiene, fallando en promedio cada 16,8 horas.
- C. LLENADORA DE BOTELLAS PET 48 VALVULAS: Este equipo se consideró de atención prioritaria ya que según los análisis obtenidos es de los equipos que se consideran de criticidad media además de ser de los 2 equipos que mayor valor de criticidad tienen (11) y en el indicador de confiabilidad es de los equipos menos confiabilidad tiene, fallando en promedio cada 1.52 días.
- D. PALETIZADORA: Este equipo se consideró de atención prioritaria ya que según los análisis obtenidos es de los equipos que se consideran de criticidad y en el indicador de confiabilidad es de los equipos menos confiabilidad tiene, fallando en promedio cada 1.41 días.
- E. INSPECTOR ELECTRONICO DE ENVASE: Este equipo se consideró de atención prioritaria ya que según los análisis obtenidos es de los equipos que se consideran de criticidad y en el indicador de confiabilidad es de los equipos que menos confiabilidad tiene, fallando en promedio aproximadamente cada día, a pesar de ser de los equipos que tiene la mantenibilidad con valor más bajo, esto nos puede indicar un fallo recurrente que se soluciona rápidamente pero es muy continuo deteniendo todo el proceso de producción
- F. OZONIZADOR EN LINEA: A pesar de ser de los equipos que más confiabilidad tiene respecto a los otros con un promedio de falla cada 4.88 días, es el equipo que mayor valor de mantenibilidad tiene, esto quiere decir que hay complejidad en la actividad correctiva y por

ende se tienen que determinar actividades que ayuden a que las fallas no sean tan agravadas, también porque es fundamental para el producto y su sustituto aumenta los costos.

4.4 RCM Equipos línea de agua potable.

Para realizar esta metodología de mantenimiento, se procede a complementar el análisis de falla, con la metodología de análisis de modos y efectos de falla (AMEF), esto con el fin de tener base sólida sobre las fallas funcionales, efectos y consecuencias.

4.4.1 AMEF Equipos línea de agua potable.

En este análisis de modos y efectos de falla, una vez se reconozcan las fallas funcionales, efectos y consecuencias, se procede a categorizar el riesgo de cada falla, para esto se realiza el cálculo de NPR (Numero Prioritario de Riesgo) para cada falla presente en los equipos de la línea.

NPR es un proceso de implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al desarrollar la metodología de Análisis del Modo y Efectos de fallas (AMEF) en una planta que cuenta con equipos, maquinaria e instalaciones que operan en un contexto operacional determinado; es fundamental identificar aquellos modos de fallas que implican mayores riesgos y que impacten dramáticamente al proceso, operación, costos, seguridad y medio ambiente. Por lo tanto, este riesgo se cuantifica mediante un indicador llamado Número de Prioridad de Riesgo (NPR) [16]

El Número de Prioridad de Riesgo o NPR: Es un valor que establece una jerarquización de las fallas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos; lo que conlleva a dar prioridad a los NPR más altos [16].

Se diseñaron diferentes tablas con la intención de establecer los criterios y los índices que son necesarios para el cálculo del NPR específicamente en el proceso de la línea de agua potable, teniendo en cuenta la información obtenida de las paradas por máquina, que comprende 1 año de producción.

4.4.2 Índice de frecuencia

En este índice se tendrá en cuenta el indicador de confiabilidad, específicamente el tiempo promedio para fallar (TPPF), con este indicador se relaciona la cantidad de horas de operación del equipo junto con la cantidad de averías.

$$TPPF = \frac{\text{Cantidad de horas de operacion}}{\text{Cantidad de averias}} \quad (10)$$

Este permite conocer la frecuencia en las que ocurren las fallas de un sistema, en este caso se tendrá en cuenta el tiempo de operación y cantidad de fallas en el periodo donde se ejecuta el análisis, 1 año.

Teniendo en cuenta la información suministrada de los equipos, se va a categorizar tal como se observa en la tabla 12.

Tabla 12.

Índice de frecuencia y criterio.

INDICE DE FRECUENCIA	CRITERIO
5	$1 \leq TPPF < 3$
4	$3 \leq TPPF < 10$
3	$10 \leq TPPF < 20$
2	$20 \leq TPPF < 100$
1	$TPPF \geq 100$

Nota. Valores de índice de frecuencia y criterio con rangos de valor de TPPF.

Explicación criterio índice de frecuencia.

- Se estima que tenga una ocurrencia de falla en 3 años (rango 4 y 5)
- Hay posibilidad de que ocurran varias fallas en 3 años; y poco probable que ocurra en 10 años. (RANGO 3)
- Pueden que ocurran varias fallas en 10 años; pero es poco probable que ocurra en 20 años (RANGO 2)
- Es probable que ocurran varias fallas en 20 años. Probable que ocurra en 100 años (RANGO 1)

4.4.3 Índice de gravedad

En este índice se tendrá en cuenta el indicador de mantenibilidad, específicamente al tiempo promedio para reparar (TPPR), este nos permite conocer el tiempo promedio entre la ocurrencia de la falla de un sistema y la reparación de esta, relaciona la cantidad de horas de falla con la cantidad de fallas.

$$TPPR = \frac{\text{Cantidad de horas de falla}}{\text{Cantidad de fallas}} \quad (11)$$

Se relaciona con la gravedad ya que nos indica el promedio de afectación por falla, según lo anterior entre mayor sea el TPPR mayor complejidad tiene la falla y consecuente entre más tiempo dure la avería más grave es, ya que se considera una línea crítica para la empresa y afectara perdidas en costo, por ejemplo, si el costo de venta del producto es de 1.000 pesos colombianos, y el caudal de producción de la línea es de 40.000 botellas por minuto (BPM) y el valor TPPR es de 1 en la producción se perderían 2.400.000.000 de pesos colombiano lo que es un gran número en valor de producto.

Teniendo en cuenta la información suministrada de los equipos y los índices anteriores se categorizan de la manera evidenciada en la tabla 13.

Tabla 13.

Índice de gravedad y criterio.

INDICE DE GRAVEDAD	CRITERIO
5	$TPPR \geq 3$
4	$2 \leq TPPR < 3$
3	$1 \leq TPPR < 2$
2	$0,5 \leq TPPR < 1$
1	$0 \leq TPPR < 0,5$

Nota. Valores de índice de gravedad y criterios de valor TPPR

4.4.4 Índice de detección

El índice de detección se relaciona con la atención prioritaria que le da el operario o el mecánico de línea, existen diferentes tipos de situaciones para la atención.

- Si la avería detiene la producción de la línea, operadoras y mecánicos tienen una decisión inmediata. (RANGO 1)
- Si la avería detiene la máquina, se activa señal visual operadores y mecánicos tienen un tiempo de gracia mientras detectan la avería. (RANGO 2)
- Si la avería bloquea un sistema o un proceso se activa una señal de riesgo, se tiene un tiempo de gracia más amplio. (RANGO 3)
- Si la avería no afecta el proceso, pero si está generando una anomalía, operador, analista o el mecánico, tienen un tiempo de gracia hasta que se encuentre una anomalía en el producto o comportamientos extraños de las maquinas. (RANGO 4)
- Si la avería no genera ninguna señal de riesgo y afecta al proceso a largo plazo sin detectar ruidos, este será muy difícil de detectar por cualquiera de los integrantes de la línea. (RANGO 5)

Teniendo en cuenta esta información se tabulan los índices de detección y el criterio con el que influirían en la línea de agua potable tal como se observa en la tabla 14.

Tabla 14.

Índice de detección y criterio.

INDICE DE DETECCION	CRITERIO
5	No detecta una posible falla
4	Advertencia o señal digital de funcionamiento
3	Bloqueo de sistema
2	Parada de maquina
1	Parada de línea

Nota. Valores de índice de detección y criterio con rangos de clasificación según funcionamiento de línea.

El NPR o número prioritario de riesgo tomando en cuenta estos índices y cada criterio categorizando la falla se calculará de la siguiente manera por cada falla que presente el equipo.

$$NPR = \text{Indice de Frecuencia} * \text{Indice de gravedad} * \text{Indice de detecccion} \quad (12)$$

Calculando el valor mínimo y el valor máximo que se puede presentar en cada falla se presentan estos dos valores. Tal como se observa en la tabla 15.

Tabla 15.

Valor mínimo y máximo que puede tomar el valor NPR.

Valor Mínimo NPR	1
Valor Máximo NPR	125

Nota. Valor mínimo y máximo considerando los valores de NPR.

La importancia de cada riesgo se cuantifica dónde se va a considerar si es una falla de bajo, medio o alto riesgo.

La criticidad se da entre la frecuencia y el impacto total. El impacto total es el resultado de la suma de los valores de todas las consecuencias. Este resultado se ubica en la matriz de criticidad mostrada en la tabla 16 y de acuerdo con el valor, se determina el valor de criticidad.[17]

Tabla 16.

Matriz de criticidad NPR [17].

Frecuencia	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	Impacto																					

Nota. Clasificación del valor NPR según criticidad entre frecuencia e impacto total.

Tabla 17.

Rangos para clasificar el riesgo de falla.

CLASIFICACION DE RIESGO	RANGO
Riesgo de falla menor	1-29
Riesgo medio de falla	30-49
Riesgo alto de falla	50-125

Nota. Rangos para clasificar el NPR para el criterio de riesgo, bajo, medio y alto.

En la tabla 17 se evidencia la clasificación de riesgo y el rango asignado categorizándose en tres modos de riesgo; riesgo de falla menor que es el valor NPR 1-29, riesgo medio de falla con un valor NPR de 30-49 y el riesgo alto de falla con un valor NPR de 50-125.

Obteniendo los anteriores resultados ya se completaría la categorización de fallas, evaluación de estas y el análisis que requiere la metodología AMEF, con este complemento se procede a completar la metodología RCM según los pasos de la norma.

En el anexo número 1 se encuentran los resultados y análisis de cada fallo específico desarrollado en el AMEF mostrando los modos de fallas, descripción de la falla, efecto de esta, número de fallos, y demás datos relevantes en el análisis.

4.5 Propuesta de actividades de mantenimiento.

Para completar las actividades propuestas según la norma básica para RCM, se proponen las actividades a realizar y a su vez asignando valores a estas actividades teniendo en cuenta:

- Descripción de la actividad: Acción propuesta de mantenimiento a ejecutar.
- Frecuencia de actividad: Tiempo propuesto para la realización de la actividad.
- Ejecutor: Empleado que realiza la actividad.
- Cantidad de ejecutantes: valor de cantidad de personas que van a realizar la actividad
- Duración (H): Tiempo propuesto a la duración de la actividad en horas.

Teniendo en cuenta estos factores, realizando el análisis de falla de los equipos y diseñando actividades preventivas se da por concluido el RCM donde este es un modelo que se realizó en otro programa.

En el anexo número 2 se logra evidenciar el desarrollo del RCM según formato estándar definido en la norma SAE JA1011, teniendo una acción de mantenimiento para cada fallo registrado de cada máquina.

4.6 Instructivo para la implementación del plan de mantenimiento.

El cargue de el plan de mantenimiento que se diseñó parte desde una base de datos para organizarlos correctamente, la información necesaria es:

1. Número del equipo.

Figura 10.

Paso 1 implementación.



Nota. En la figura se ilustra casilla donde se digital el código del equipo en SAP.

Se digita el número del equipo a modificar, este digito tiene que ser el suministrado por la empresa para el reconocimiento del software.

2. Código ubicación planta (Ce).

Este código corresponde a la ubicación de la planta según organización de plantas en la organización Postobón S.A

3. Tipo de actividad (Ctrl).

Se digita el código correspondiente al tipo de actividad de mantenimiento utilizado en la empresa, ya sea actividad preventiva, correctiva o predictiva.

4. Descripción de la actividad (Descripción operación).

En esta casilla se detalla el procedimiento que se requiere para ejecutar la actividad asignada.

5. Duración de trabajo (Trabajo).

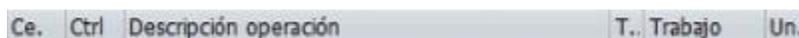
Este número es aproximado al tiempo que se debe ejecutar la actividad.

6. Unidades de duración de trabajo (Un).

Este campo se refiere a las unidades de tiempo trabajadas para la duración de la actividad, en este caso todas las actividades de la planta se miden en Horas.

Figura 11.

Paso 2-6 implementación.



7. Asignar frecuencia.

Figura 12.

Paso 7 implementación.

Descripción operación	1D	7D	14	1M	2M	3M	4M	6M	1A	2A	3A	4A	5A
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Según las actividades propuestas, estas van a estar sujetas a una frecuencia, donde se selecciona la dada por la metodología RCM.

8. Iniciar o programar ciclo.

Ejemplo:

- 519562
- XXXX=GASEOSAS COLOMBIANAS SEDE SUR
- XXXX=Actividad preventiva
- Mantenimiento válvulas.
- 2
- HRA
- 1D/7D/15D/1M/2M/3M/4M/6M/1A/2^a
- INICIAR CICLO/PROGRAMAR

4.7 Planeación y programación.

La planeación y programación de los equipos son fundamentales para obtener un orden en la empresa, para tener la capacidad de realizar el seguimiento al empleado cuando empiece, desarrolle y culmine la actividad de mantenimiento, en Postobón se realizan análisis respecto a estos planes, y la ejecución de los mismos, es por esto que nuestra implementación para que tenga un seguimiento se va a programar desde el 01/01/2023.

En el anexo número 3 se evidencia la planificación y organización del plan de mantenimiento diseñado, teniendo una actividad y acciones recomendadas para cada falla y cada equipo mostrando también la frecuencia y duración de dichas actividades junto con el personal a cargo según terminología de la empresa GascolSur.

Tomando en cuenta el número de actividades actuales en el plan de mantenimiento actual de los equipos, se va a categorizan de la siguiente manera como se evidencia en la tabla 18.

Tabla 18.

Análisis de planeación de actividades.

Análisis	Número de actividades	Duración total de actividades (h)
Etiquetadora envolvente	14	16,9
Llenadora de botellas pet 48 válvulas	10	28,5
Enfardadora	9	27
Paletizadora	4	8
Ozonizador en línea	3	7
Inspector electrónico de envase	3	2,5
Total	43	89,9

Nota: La tabla representa el número de actividades asignadas por máquina, junto con el tiempo de duración de cada actividad

Según los datos obtenidos anteriormente del plan de mantenimiento y las actividades propuestas, el equipo con mayor número de actividades es la etiquetadora envolvente que es consecuente con el primer análisis de horas e intervenciones en el año, ya que este equipo requiere más atención de acuerdo a su funcionamiento actual.

Equipos como la llenadora de botellas y la enfardadora, estos equipos tienen cierta relación en el número de actividades y la duración total de estas, ya que son equipos que requieren mayor complejidad a la hora de realizar un mantenimiento debido a que sus fallas analizadas demandan repuestos los cuales tienen un tiempo de gracia para tenerlos disponibles.

Equipos como la Paletizadora y Ozonizador en línea se tuvieron fallos ocurrentes y fallos similares, esto para poder optimizar los fallos con el menor número de actividades para que no demanden mucha disponibilidad al personal de mantenimiento de la línea de producción.

El equipo con el menor número de duración de actividades propuestas es el inspector electrónico, esto se debe a la característica de sus fallos, ya que se deben a anomalías físicas del proceso a la hora de rechazar la botella, se debe realizar más que todo actividades de limpieza y monitoreo, esto también depende de la atención del operario, ya que algunos de estos fallos por la desatención del empleado encargado.

5. CONCLUSIONES

GASEOSAS COLOMBIANAS S.A.S SEDE SUR es una empresa dedicada a la producción de alimentos donde se necesita una buena gestión del mantenimiento, explorando y optimizando proyectos para el mejoramiento continuo de las líneas de producción.

En la empresa se necesitaba el diseño de un plan de mantenimiento poniendo en práctica una estrategia de mantenimiento para mejorar la confiabilidad de las máquinas ya que la mayor cantidad de actividades en las máquinas son correctivas.

Se analizaron los tiempos fuera de servicio de las máquinas de la línea de agua potable, sin embargo, algunos registros de averías en el historial de fallas generalizaban el problema a solo el nombre de la máquina imposibilitando un análisis de una posible falla.

Gracias a la matriz de criticidad ejecutada en la línea de agua potable de GascolSur se encontraron que la etiquetadora envolvente, enfardadora, llenadora de botellas, paletizadora, inspector electrónico y ozonizador en línea son los equipos más críticos y por ende los principales candidatos para la implementación de la metodología RCM.

La metodología de mantenimiento AMEF fue la más adecuada para complementar la metodología RCM, ya que realiza un análisis funcional de fallas considerando diferentes factores que conllevan a la categorización de una posible falla de alto riesgo calculando el NPR, identificando y priorizando para tener conocimiento la tipología de fallas que puede haber en un sistema o equipo.

Se diseñó el plan de mantenimiento teniendo en cuenta disponibilidad del personal para la facilidad de ejecución de los empleadores de GASEOSAS COLOMBIANAS S.A.S SEDE SUR, y cumpliendo con los estándares que requiere la metodología esperando buenos resultados de confiabilidad de los equipos en un futuro.

La planeación y programación de estas actividades asignando los requerimientos para ejecutar correctamente la actividad son muy importantes en el diseño de un plan de mantenimiento ya que

se quiere reflejar en buenos resultados y a su vez incentivar a mejorar periódicamente los planes de mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Jiménez, “Optimización del plan de mantenimiento preventivo para moldes de inyección de preforma en Iberplast S.A.S.,” Universidad de América, Bogotá, 2021.
- [2] J. Sifonte, “Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM),” <https://pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>, Apr. 04, 2017.
- [3] S. A. S. Juan, D. Mendoza Poveda, J. David, and M. Bohórquez, “Elaboración de un plan de mantenimiento interactivo, para sistemas de refrigeración comercial de media y baja temperatura, instalados por la empresa diac ingeniería.”
- [4] L. Alfredo and H. Rodríguez, “Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de gaseosas no. 3,” Universidad Libre de Colombia, Bogotá, 2014.
- [5] Organización Ardila Lülle, “Postobón,” 2021.
- [6] L. Malagón, “POSTOBON S.A,” 2018.
- [7] “Krones,” <https://www.krones.com/es/index.php>, 2022.
- [8] SAP, “¿Qué es SAP?,” <https://www.sap.com/latinamerica/about/company/what-is-sap.html>.
- [9] N. Lopez, “Elaboración de un plan de mantenimiento para una grúa tipo celosía Bucyrus 38-b de la empresa Subsuelos S.A.S en Cota - Cundinamarca,” Universidad de América, Bogotá, 2020.
- [10] Tractian, “Todo sobre la matriz de criticidad,” <https://tractian.com/es/blog/todo-sobre-la-matriz-de-criticidad>, Sep. 09, 2021.
- [11] J. Anel, “RCM. Mantenimiento basado en la Confiabilidad.,” <https://leancomponentes.com/rcm/>, Nov. 20, 2021.
- [12] “Ingeniería de mantenimiento: mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) (parte 3),” <https://enovalevante.es/ingenieria-de-mantenimiento-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-rcm-parte-3/>, Feb. 10, 2022.
- [13] O. Campos, G. Tolentino, M. Toledo, and R. Tolentino, “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos,” Nov. 2018.
- [14] Sicma21, “Cómo diseñar un Plan de Mantenimiento Industrial,” <https://www.sicma21.com/como-disenar-un-plan-de-mantenimiento-industrial/>, May 05, 2021.

- [15] Santana.Brayam, "Elaboración de un plan de mantenimiento para la empresa metalmecánica Indumetalsa S.A.S.," Universidad de América, Bogotá, 2022.
- [16] CMMS, "¿Qué es el Número de prioridad del riesgo?," <https://cmms.pe/que-es-el-numero-de-prioridad-del-riesgo-2/#:~:text=El%20N%C3%BAmero%20de%20Prioridad%20de,a%20dar%20prioridad%20a%20los>].
- [17] B. Perea and H. Lopez, "Implementación de mantenimiento preventivo y predictivo a los equipos que intervienen en el proceso de producción en la empresa Equiaceros SAS," Bogotá, 2019.
- [18] Grupo Enova. (2018). *Implementación del análisis de criticidad de equipos*. <https://Enovalevante.Es/Consultoria-Industrial/Analisis-Criticidad-de-Equipos/#:~:Text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20criticidad%20es,Fallas%20y%20sus%20consecuencias%20asociadas>.

ANEXOS

Anexo 1. Metodología AMEF en archivo Excel.

Anexo 2. Metodología RCM en archivo Excel.

Anexo 3. Formato de planeación de mantenimiento suministrado por GascolSur para la programación de las actividades propuestas en archivo Excel.

ANEXO 4.

RECOMENDACIONES

De acuerdo al análisis de criticidad de los equipos que no fueron seleccionados, se recomienda efectuar una metodología de análisis de falla para complementar y asegurar la confiabilidad de estos equipos para que no generen inconveniente en un futuro que se podrían ver reflejados en los indicadores de mantenimiento o eficiencias de producción.

Se recomienda evaluar los costos de la implementación del plan de mantenimiento basado en RCM propuesto, con los costos que está generando el tipo de mantenimiento aplicado actualmente a la línea de agua potable, para que, de esta forma, se pueda determinar la viabilidad financiera del proyecto

Se recomienda optimizar la herramienta informática mediante adición de indicadores que puedan medir la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de la línea de agua potable para que se pueda tener más fiabilidad a la hora de tomar decisiones y reducir errores en el historial de fallos con tiempos que no se determinan de manera correcta por el personal.

Se recomienda actualizar el plan de mantenimiento periódicamente con los datos más recientes y tener actualizados los indicadores importantes en el mantenimiento y así analizar el progreso de los mantenimientos actuales o propuestos en este proyecto.

Se recomienda capacitación general del proyecto al personal que de alguna manera intervenga en la línea de producción de agua potable, ya que esto puede optimizar los procesos de mejora respecto al mantenimiento, tanto en el área de producción, mejora continua y mantenimiento, también se puede crear un sentido de pertenencia que puede incentivar a desarrollar nuevas formas de mejorar el plan de mantenimiento actual.