

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA

GASCOL CENTRO

CASO DE ESTUDIO “MÁQUINA LLENADORA DE BOLSAS SOLPAC 2006”

ING. HERNANDO GONZALEZ ARDILA

ING. KEYDTH BRAYAN PABON ORTIZ

UNIVERSIDAD ECCI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BOGOTÁ, D.C

AÑO 2018

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
GASCOL CENTRO**

CASO DE ESTUDIO “MÁQUINA LLENADORA DE BOLSAS SOLPAC 2006”

ING. HERNANDO GONZALEZ ARDILA

ING. KEYDTH BRAYAN PABON ORTI

**Proyecto de investigación para optar al título de especialistas en gerencia de
mantenimiento**

Presentado a:

Ing. MIGUEL ANGEL URIAN TINOCO

Especialista en gerencia de mantenimiento

UNIVERSIDAD ECCI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BOGOTÁ, D.C

AÑO 2018

Agradecimientos,

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Ingeniero Miguel Ángel Urian Tinoco, quien, con su conocimiento, experticia nos guío y acompañó en el proceso investigativo del actual proyecto.

Tabla de contenido

1	Título de la investigación.....	7
2	Problema de investigación	7
2.1	Descripción del problema.....	7
2.2	Planteamiento del problema.	9
2.3	Sistematización del problema.....	9
3	Objetivos.....	10
3.1	Objetivo general.	10
3.2	Objetivo específico.	10
4	Justificación y delimitación.....	11
4.1	Justificación.	11
4.2	Delimitación.....	12
4.3	Limitaciones.....	12
5	Marco conceptual.	13
5.1	Estado del arte.....	13
5.1.1	Estado del arte local.....	13
5.1.2	5.1.2 Estado del arte nacional.....	16
5.1.3	5.1.3 Estado del arte internacional.....	18
5.2	Marco teórico.	21
5.2.1	5.2.1 Definición de mantenimiento.	21
5.2.2	5.2.2 Generalidades del mantenimiento.....	23
5.2.3	5.2.3 Tipos de mantenimiento.....	24
5.2.4	Costos de Mantenimiento.....	37
5.2.5	RCA.....	42
5.3	Marco normativo y legal.	45
5.4	Marco Histórico.....	47
6	Marco metodológico.....	48
6.1	Recolección de la información.	48
6.1.1	Tipo de investigación.....	48
6.1.2	Fuentes de obtención de investigación.	49
6.1.3	Herramientas.....	50
6.1.4	Metodología.....	50

6.1.5	Recopilación de la información.	52
6.2	Análisis de la información.....	57
6.2.1	Técnica de mantenimiento para la máquina llenadora de bolsas.	57
6.2.2	Análisis de criticidad.....	58
6.3	Propuesta de solución	59
6.3.1	Solución a 3 de las fallas con mayor impacto descritas en el análisis de criticidad.	59
6.3.2	Propuesta de plan de mantenimiento.	62
7	Impactos esperados.....	63
8	Análisis financiero.....	64
8.1	Costo propuesta plan de mantenimiento preventivo.....	64
8.1.1	Costo stock mínimo de repuestos.....	66
8.1.2	Costo adquisición de materiales para mitigar modos de falla del análisis de criticidad.	68
8.1.3	Costo anual nómina del personal de mantenimiento (Técnicos)	69
8.1.4	Costo total.	70
8.1.5	Resultados costos.....	70
8.1.6	ROI.....	71
9	Conclusiones y recomendaciones.	72
9.1	Conclusiones	72
10	Bibliografía.....	73

Índice tabla de ilustraciones

Ilustración 1 . Tipos de mantenimiento Fuente (Angel, Rafael; Olaya, Hector, 2014)	22
Ilustración 2 Tipos de investigación.	48
Ilustración 3 Análisis de criticidad.	58
Ilustración 4 Propuesta de plan de mantenimiento preventivo.....	62
Ilustración 5 Costo por desperfectos.	63
Ilustración 6 Costo total plan de mantenimiento preventivo.....	65
Ilustración 7 Stock mínimo sistema neumático	66
Ilustración 8 Stock mínimo sistema eléctrico y electrónico.....	67
Ilustración 9 Stock mínimo de repuestos mecánico	67
Ilustración 10 Stock mínimo lubricantes	68
Ilustración 11 Componentes para compra	68
Ilustración 12 Costo nómina técnico de Mantenimiento.	69
Ilustración 13 Costo total directo de mantenimiento.....	70

1 Título de la investigación.

Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para Gascol Centro caso de estudio
“máquina llenadora de bolsas Solpac 2006”

2 Problema de investigación

2.1 Descripción del problema.

Gascol Centro es una industria dedicada al envasado de agua en diferentes presentaciones a nivel regional y nacional. Debido a su trayectoria Gascol Centro se ha diferenciado por ser referente en el sector ofreciendo productos de alta calidad; en los últimos años la demanda de producto se ha incrementado a tal punto que hace 3 años la planta contaba con 2 turnos diarios de 8 horas; hoy en día opera 24 horas al día durante 6 días de la semana; este incremento de producción ha hecho necesario reestructuraciones técnicas y administrativas para la gestión del mantenimiento en las diferentes máquinas de la planta.

En la máquina llenadora de bolsas Solpac 2006 hubo un aumento considerable en la producción semanal pues se pasó de 80 mil a 120 mil bolsas semanales aproximadamente, aumento del 50%; al momento de la compra el fabricante entregó a la empresa una máquina con capacidad de producir entre 14 y 20 unidades por minuto con un margen de no conformidad entre el 3 y el 5% es decir por cada 1000 bolsas probablemente de 30 a 50 tendrían defectos de fabricación, a lo largo del tiempo este porcentaje ha venido en aumento,

después de 12 años ahora se tiene un 15% aproximadamente (Tabla 1, Producción vs desperfectos), valor por el cual las reclamaciones e inconformidad por parte de algunos centros de distribución y de los clientes se ha incrementado; este crecimiento obedece a un detrimento en los diferentes componentes de la máquina sumado a la falta de una estrategia adecuada de mantenimiento dado que en la actualidad se basa en mantenimiento correctivo.

Enero de 2007	Turno A		Turno B	
produccion vs desperfectos	Produccion	Desperfectos	Produccion	Desperfectos
Promedio número bolsas	6412	269	6445	260
promedio % desperfecto	4%	Turno b	4%	

Enero de 2018	Turno A		Turno B		Turno C	
produccion vs desperfectos	Produccion	Desperfectos	Produccion	Desperfectos	Produccion	Desperfectos
Promedio número bolsas	6411	772	6429	785	6435	786
promedio % desperfecto	12%		12%		12%	

Tabla 1 Producción VS desperfectos enero de 2007 y 2018

2.2 Planteamiento del problema.

¿Cómo retornar a las condiciones iniciales de funcionamiento de la máquina llenadora de bolsas Solpac mediante un plan de mantenimiento preventivo?

2.3 Sistematización del problema.

- ¿Cuáles son las actividades de mantenimiento que se ejecutan actualmente a la máquina?
- ¿Cuál es la metodología más adecuada para la gestión del mantenimiento en la máquina llenadora de bolsas Solpac?
- ¿Qué rentabilidad generara realizar el mantenimiento preventivo con respecto al mantenimiento correctivo que se realiza actualmente?

3 Objetivos.

3.1 Objetivo general.

- Diseñar un plan de mantenimiento para la máquina llenadora de bolsas Solpac que retorne y mantenga las condiciones iniciales de funcionamiento para garantizar la calidad en el proceso de envasado y sellado.

3.2 Objetivo específico.

- Establecer las condiciones actuales de mantenimiento en la máquina Solpac 2006.
- Determinar la metodología más adecuada para la gestión del mantenimiento de la máquina llenadora de bolsas Solpac.
- Realizar una propuesta de plan de mantenimiento para la máquina llenadora de bolsas Solpac.

4 Justificación y delimitación.

4.1 Justificación.

El consumo de agua potable es muy importante en la salud y bienestar de todo ser vivo, cualquier actividad cotidiana reduce los niveles de agua o hidratación en nuestro cuerpo; si bien se sabe el cuerpo humano está formado entre un 60% y 70% de agua. Un adulto promedio pierde 2.5 litros de agua al día; La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las necesidades para un adulto sano están en torno a 30-35 mililitros de agua al día por cada kilo, por tal motivo los profesionales de la salud recomiendan tomar en promedio de 6 a 8 vasos de agua al día dependiendo de las condiciones corporales, esto para evitar la ralentización en los procesos metabólicos del cuerpo. El agua que bebemos lleva nutrientes a las células, mantiene los riñones sanos, también aporta hidratación a la piel, ojos, boca, nariz; por si fuera poco, previene enfermedades como la diabetes, artritis, obesidad y es capaz de retrasar el envejecimiento; de tal manera que el agua que bebemos debe ser de óptima calidad.

Postobón S.A es una empresa Colombiana de gran reconocimiento en el campo de las bebidas no alcohólicas entre ellas agua; actualmente cuenta con dos marcas muy reconocidas en el sector de consumo masivo, Agua Cristal y Agua Oasis, es por esto que Postobón S.A esta totalmente comprometida con la salud de sus clientes y se encarga de envasar agua de consumo humano que cuentan con altos estándares de fabricación que garantizan el bienestar

y la salud de sus consumidores es por ello que el mantenimiento industrial se convierte en un eslabón sumamente importante a la hora de entregar un producto de óptimas condiciones, hoy en día la planta Gascol Centro es la proveedora del 70% de las bolsas de Agua Cristal que Postobón S.A distribuye a lo largo y ancho del territorio nacional, por tal motivo es necesario generar un cambio en la metodología actual que se lleva en torno al mantenimiento correctivo; una propuesta de mantenimiento preventivo garantizaría la calidad en el proceso de mantenimiento aumentando la confiabilidad y disponibilidad de la máquina, esto generaría un impacto positivo pues disminuiría el número de bolsas no conformes en la línea de producción y a su vez bajaría los índices de reclamaciones en los diferentes centros de distribución protegiendo la imagen de la empresa y generando confianza para con sus clientes.

4.2 Delimitación.

El proyecto por desarrollar se la planta Gascol Centro ubicada en la ciudad de Bogotá en la calle 17 #55^a – 15 durante el segundo semestre del año 2018.

4.3 Limitaciones.

- La empresa para la cual se realiza el proyecto entrará a evaluar la propuesta y tomará la decisión de implementarla o no. En caso tal que la empresa acceda el proyecto entrara en fase de implementación.

- Solamente se cuenta con los recursos propios de los ponentes de la propuesta.

5 Marco conceptual.

5.1 Estado del arte.

5.1.1 Estado del arte local

En la universidad existen trabajos de investigación acordes con la propuesta para realizar un plan de mantenimiento, algunas a mencionar son las siguientes:

En el año 2017 los ingenieros Andrés Castelblanco, Guillermo Murcia y Eduardo Rojas de la Universidad ECCI de Bogotá, Desarrollaron Una Propuesta De Plan De Mantenimiento Preventivo Para Sistema De Energía Eléctrica Termo Solar Y Fotovoltaica En Zonas Rurales De Buenavista Boyacá, este trabajo nos dará un referente de la manera en la cual debe desarrollarse un plan de mantenimiento preventivo. El proyecto diseñado por los ingenieros consistía en generar un plan de mantenimiento que permitiera mantener confiables y disponibles las estaciones eléctricas alternativas; se plantea la necesidad de realizar un manual para que los clientes puedan autorregular y conserven en buen estado los equipos, todo esto apuntando a mejorar la calidad de vida de la población rural, con la propuesta del plan de mantenimiento se garantiza una vida útil 25 años. (Castelblanco, Andres; Murcia, Guillermo; Rojas, Eduardo, 2017)

En el año 2018 los ingenieros Danilo López y Julián Reina de la Universidad ECCI de Bogotá, desarrollaron una Propuesta De Un Programa De Mantenimiento Preventivo Para Equipo Twin Evolución, este trabajo nos ayudó a correlacionar la interacción entre los procesos y sus rutinas; en este trabajo se pudo observar que la empresa Empacar S.A. solo contaba con este equipo por consiguiente cuando entraba en fallo implicaba retrasos y sobrecostos en la producción, con este trabajo se establece un plan de mantenimiento preventivo donde se determinan los procesos involucrados, actividades y rutinas acordes con la operación de la empresa. Además, se generaron una serie de indicadores financieros para el control de los tiempos y costos ocasionados por la indisponibilidad de la máquina. (Lopez, Danilo; Reina, Julian, 2018).

En el año 2013 el Ingeniero Sebastián Rodríguez de la Universidad ECCI de Bogotá, desarrolla un trabajo de grado el cual tiene como título Plan De Mantenimiento Preventivo Para Institución Educativa Simón Rodríguez, el documento tiene como objetivo ser una guía detallada de plan de mantenimiento preventivo para cada sistema en el cual se catalogó la totalidad de los activos de acuerdo a su criticidad en el proceso; por último se dejó estipulado las frecuencias, responsables y rutinas a realizar en estos activos; este trabajo de grado nos da unos parámetros para determinar los activos o equipos más críticos de una organización, empresa o institución. (Rodriguez, Sebastian, 2013).

En el año 2013 los ingenieros Alejandro Silva Y Oscar Pérez de la Universidad ECCI de Bogotá, desarrollaron como proyecto de grado un Diseño De Un Plan De Mantenimiento

Preventivo Para Tractocamiones de una agencia logística en una compañía de la industria militar, el trabajo proporciona ideas certeras de la manera más adecuada para lograr un aumento en disponibilidad de la flota, disminución de paros de emergencia e impacto positivo en los costos asociados a las emergencias, el modelo de estudio fue Kodiak 1416, el plan de mantenimiento preventivo se realiza de acuerdo al diagnóstico inicial de la flota la cual se basó en la inspección de motor, frenos , lubricación, etc., y la segunda la rutina de inspección primaria del vehículo antes de salir a operar. (Silva, Alejandro; Perez, Oscar, 2013).

En el año 2012 los ingenieros Wilson Rincón y Hernando Sánchez de la Universidad ECCI de Bogotá, realizaron un trabajo llamado Análisis De Causa Raíz (RCA) Para Optimizar La Confiabilidad De Los Activos Informáticos De La Previsora S.A. Compañía de seguros; este trabajo se realizó con el fin de mejorar el plan de mantenimiento preventivo que se tenía en la empresa pues tenían que el 41.6% de los incidentes eran el Hardware de los equipos de cómputo, tras la recolección de información se realiza el análisis de causa raíz, lo cual les arroja que 5 repuestos eran los que presentaban el 80% de la fallas, al realizar esto se disminuye en un 30% los gastos de adquisición de repuestos, para el caso de nuestro proyecto se hace importante el uso de esta herramienta para la búsqueda de fallas. (Rincon, Wilson; Sanchez, Hernando, 2012).

5.1.2 5.1.2 Estado del arte nacional

Existen algunos trabajos de grado, artículos y estudios realizados en las áreas de investigaciones de las universidades a nivel nacional, de las se referenciarán los siguientes.

En el año 2014 los estudiantes Camilo Buelvas y Kevin Martínez de la Universidad Autónoma del Caribe en Barranquilla, realizaron un trabajo de grado el cual es la Elaboración De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para La Maquinaria Pesada En La Empresa L Y L, Este trabajo realiza un plan de mantenimiento enfocado en la disminución de los costos y tiempos muertos puntos sumamente importantes para el desarrollo de nuestro proyecto; tienen como objetivo reducir el mantenimiento de tipo correctivo y alargar la vida útil de los activos, adicional acortar los costos de reparación por medio de rutinas de inspección que puedan detectar fallas en los subsistemas de los vehículos. (Buelvas, Camilo; Martinez, Kevin, 2014).

En el año 2014 los estudiantes Rafael Ángel y Héctor Olaya de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizaron un trabajo de grado el cual es el Diseño De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para La Empresa Agroangel, el cual tuvo como objetivo disminuir los fallos atreves de un plan de mantenimiento preventivo, en el cual se crearon instructivo, rutinas y frecuencias de mantenimiento y adicional a esto era crear software con el cual se pueda manejar adecuadamente el plan de mantenimiento, todo esto apuntando a mejorar la confianza y disponibilidad de los activos de la empresa, este trabajo es uno de los que más se

acerca a lo que queremos llegar apuntándole a las frecuencias y rutinas. (Angel, Rafael; Olaya, Hector, 2014).

En el año 2018 el estudiante Jonathan Aragón de la Escuela tecnológica Instituto Técnico Central de la ciudad de Bogotá, realiza un trabajo de grado el cual se basa en el Diseño De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para Maquinaria Pesada Y Vehículos De La Empresa Nema Ingeniería, en este documento el autor tuvo como objetivo disminuir los costos de mantenimiento correctivo ya que la empresa no contaba con ningún tipo de mantenimiento preventivo, ente trabajo se logra realizar las rutinas y frecuencias de mantenimiento el cual da también como resultado el primer presupuesto de la empresa para el área de mantenimiento basado en este plan, el numeral de costos sirve como guía de los costos asociados en el presente proyecto de mantenimiento. (Aragon, Jonathan, 2018).

En el año 2015 la ingeniera Sandra Caucali de la Universidad Militar nueva Granada de Bogotá, desarrolla un Modelo De Plan De Mantenimiento Preventivo Orientado A Una Administración Altamente Efectiva, la autora tiene como objetivo disminuir el número de fallos identificando los puntos ciegos del proceso de mantenimiento, esto con el fin de instaurar un modelo de planes de mantenimiento preventivos organizados a buenas prácticas y basados en las norma ISO 20000, lo anterior para que se puedan ejecutar tareas controladas sin la afectación de la disponibilidad de los activos, este documento nos da una visión de cómo ser efectivo en la culminación de un plan de mantenimiento. (Caucali, Sandra, 2015).

En el año 2017 el estudiante Juan Monrroy de la Universidad Santo Tomas de Bogotá, realiza un trabajo de grado que se basa en la Propuesta De Mejora Del Plan De Mantenimiento De Los Motores AX-901B Y AX-901D En La Planta Apiay De Ecopetrol, se enfocó como punto de partida identificar el funcionamiento de los motores con el fin de recolectar la información suficiente de los diferentes eventos durante la operación, con esta información se realizó un RCA para establecer las causas de los fallos y así lograr tomar acciones de contingencia, adicional a esto se realizó una evaluación económica para evaluar la viabilidad del proyecto. Este análisis sirve como guía para la implementación de la herramienta análisis de causa raíz que nos ayudara a identificar las fallas frecuentes y sus posibles soluciones. (Monrroy, Juan, 2017).

5.1.3 5.1.3 Estado del arte internacional

En el año 2016 el estudiante Jorge Gonzales de la universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo en la ciudad de Chiclayo, desarrollo un trabajo como opción de grado el cual es una Propuesta De Mantenimiento Preventivo Y Planificado Para La Línea De Producción En La Empresa Latercer S.A.C. este trabajo tiene como objetivo realizar una identificación de todos los activos funcionales de la empresa con el fin de realizar sus respectivos planes de mantenimiento para garantizar la confiabilidad de los equipos y su disponibilidad, al realizar estos genero un aumento de la producción del 12%, este trabajo nos sirve como guía para identificar los equipos críticos de una empresa. (Gonzales, Jorge, 2016).

En el año 2016 el estudiante Hugo Caballero de la universidad Nacional del Centro del Perú de la ciudad de Huancayo, realiza un trabajo de grado el cual es una Propuesta De Plan De Mantenimiento Preventivo Del Área De Calderas Del Hospital Regional De Huancavelica, consistió en un tipo de investigación descriptivo en el cual se realizó una recolección de información que como resultado arrojó que la metodología de mantenimiento que se llevaba no es la adecuada, a partir de esto se propuso un documento en el cual se registrarían hojas de vida de los equipos para llevar un apropiado control de las acciones de mantenimiento que se realizaron y realizaron unas frecuencias de mantenimiento para los activos, este trabajo ha servido como guía para determinar la efectividad en las metodologías de mantenimiento . (Caballero, Hugo, 2016)

En el año 2010 los estudiantes Jaime Caselles y Cesar Zepeda de la Universidad Nacional de Ingeniería de la ciudad de Managua, realizaron un trabajo de grado el consiste en una Propuesta Del Plan De Mantenimiento Preventivo De La Caldera De La Empresa Walter Ferreti, basándose en la importancia de las calderas en la industria de Nicaragua, empezaron realizando la recolección de la información de las fallas más frecuentes, rotación de repuestos y personal a cargo del mantenimiento, basado en esto y en análisis de las fallas realizan un técnica de mantenimiento detallado para este tipo de activo, cabe resaltar en función del presente trabajo la importancia de la capacitación del personal el cual debe ser competente para las labores que se describe en el plan de mantenimiento. (Caselles, Jaime; Zepeda, Cesar, 2010).

En el año 2017 el estudiante Cristian Angulo de la Universidad Nacional del Centro del Perú de la ciudad de Huancayo, realizo un trabajo de grado que consistía en una Propuesta De Modificación De Mantenimiento Preventivo Para Mejorar La Confiabilidad De Los Grupos Generadores De La Central Hidroeléctrica Cahua, en este trabajo el autor tiene como objetivo aumentar la confiabilidad atreves de la modificación del plan de mantenimiento preventivo el indica que la confiabilidad estaba entre 23% y 28% al realizar la modificación de este plan la confiabilidad llego al 55% y 60 %, el tipo de investigación que realizo fue de tipo explicativo, información importante para el desarrollo del presente trabajo en la mejora de los actuales planes de mantenimiento. (Angulo, Cristian, 2017).

En el año 2016 el ingeniero D. Hamid Allali de la Universidad Politécnica de Valencia, realizo un trabajo de grado el consiste en una Propuesta De Un Plan De Mantenimiento Para La Flota Vehicular Megalog, el autor tiene como objetivo realizar un método de mantenimiento para esta empresa ubicada en la ciudad de marruecos, él nos indica que con los cambio se logró tener actividades de mantenimiento más eficientes impactado directamente en la disponibilidad de la flota vehicular, también se obtuvo un presupuesto de mantenimiento independiente para cada actividad de los vehículos, este documento nos da una serie de pasos para realizar un presupuesto adecuado para la sustentación de una propuesta de mantenimiento. (Allali, Hamid, 2016)

5.2 Marco teórico.

Para dar soporte a la investigación se tocarán los siguientes temas: Generalidades del mantenimiento.

Tipos de mantenimiento, Técnicas de análisis de mantenimiento, Costos de mantenimiento, Indicadores de gestión de mantenimiento.

5.2.1 5.2.1 Definición de mantenimiento.

Es una rama de la ingeniería en la cual se estudia, analiza, planea y ejecuta diferentes acciones para la conservación de los componentes de las máquinas, el mantenimiento se lleva a cabo con el desenlace de maximizar la disponibilidad y vida útil de los equipos. Esta área de ingeniería en los últimos años se ha venido posicionando y ahora hace parte fundamental en la operación de cualquier empresa pues permite mantener y mejorar la productividad, una empresa que cuente con un equipo de mantenimiento fuerte y consolidado, podrá responder ante las exigencias de producción para las cuales la maquinaria fue diseñada; en términos más generales el mantenimiento viene siendo el conjunto de acciones que como objetivo tiene mantener un activo ya sea (máquina, herramienta, proceso, equipo, componente, elemento, etcétera) en buen estado, para que este cumpla su función en cuanto a disponibilidad y producción se refiere. (Abella, 2003)

Día a día el mundo cambia y está en constante crecimiento, de tal modo que es necesario la intervención y el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevos equipos y nuevas herramientas que suplan las necesidades actuales de producción y desarrollo, esto va muy de la mano con el área de mantenimiento, pues el éxito de la producción está en que sus equipos se hallen en imponderables condiciones y así cumplir con la demanda de productos. En la actualidad contamos con diferentes tipos de mantenimiento los cuales dependen del tipo de máquinas, de su estado y del uso que a estas se les da (Orozco Murillo, 2007).

En la industria colombiana se ha venido trabajando en soluciones prácticas para la mantenibilidad de las máquinas, hoy en día se cuenta con la siguiente estructuración:

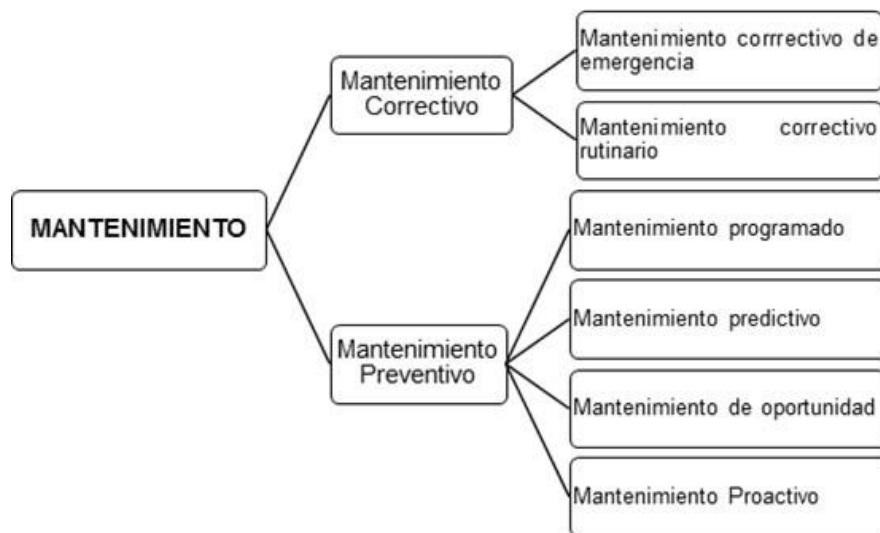


Ilustración 1 . Tipos de mantenimiento Fuente (Angel, Rafael; Olaya, Hector, 2014)

Figura 12. Tipos de mantenimiento. Fuente: El anterior mapa conceptual se basa en el libro *Gestión de mantenimiento hospitalario e industrial tendencias actuales* (Silva Ardila, 2009)

5.2.2 5.2.2 Generalidades del mantenimiento

En primer lugar, el mantenimiento tiene como objetivo preservar todos los activos que integran los anillos del sistema directa e indirecta afectados a los productos, teniéndolos en excelentes condiciones de trabajo, con un alto nivel de confiabilidad, calidad y en lo posible que el costo sea el menor posible.

En una empresa u organización el mantenimiento no solo deberá conservar las máquinas sino también todas las subestructuras como iluminación, sistemas de cómputo, redes eléctricas, sistemas de compresión, agua, aire acondicionado, pisos, etc.

El personal que realice las actividades de mantenimiento debe ser capacitado continuamente ya que es importante que el personal actualizado.

Entonces la “finalidad del mantenimiento es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible” (Torres, Daniel , 2005).

Para entender cómo opera el mantenimiento se debe examinar las distintas variables de trascendencia que están involucradas en el trabajo del sistema, las cuales se definen a continuación.

- **Fiabilidad:** Se define como la probabilidad de que un activo (subestructuras, maquinas o equipos) se desempeñen adecuadamente sin tener fallos, durante un tiempo o periodo determinado, bajos unas condiciones específicas.

- La disponibilidad: Es un lapso en el cual un sistema o equipo estuvo en escenarios de ser usado.
- La mantenibilidad: Es la posibilidad de que un activo pueda ser reparado a una condición específica, durante un tiempo estipulado, en tanto el mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas técnicas y recursos determinados con anterioridad.
- El costo: este debe ser lo más bajo posible, pero que tampoco afecte la operación de los activos esto con el fin de no afectar la operación.
- El tiempo: es un factor apremiante la entrega de los trabajos de mantenimiento en los tiempos indicados. Ya que son vitales para la operación en una organización o empresa; cualquier retraso afecta los costos tanto de producción como de mantenimiento.

Por último, los objetivos de manteniendo deben estar ordenados con los objetivos estratégicos de la empresa como máxima producción, mínimo costo, calidad requerida, higiene y seguridad, preservación del medio ambiente, etc.

5.2.3 5.2.3 Tipos de mantenimiento

5.2.3.1 Mantenimiento correctivo

Este arquetipo de mantenimiento se realiza cuando un activo como una máquina o instalación no cumple con la función para la cual fue fabricada, este no es un mantenimiento planeado pues se realiza cuando es evidente la falla.

Se define como el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos. (Garrido, santiago, 2003).

5.2.3.1.1 Mantenimiento correctivo de emergencia

Es aquel mantenimiento que se tiene que llevar a cabo en el menor tiempo posible, interrumpiendo cualquier actividad pues su omisión impacta en gran medida a la operación de la empresa, este mantenimiento acarrea unos costes altos pues se debe tener disposición de repuestos en el menor tiempo y esto hace que los costos suban. Por lo general este tipo de equipos tan críticos cuentan con uno o más equipos de respaldo, los cuales tienen como objeto suplir el trabajo que desarrolla el equipo principal que se encuentra en falla, y de esta manera permitir seguir con la operación de producción mientras es intervenido y reparado para luego seguir con su operación normal (Abella, 2003).

5.2.3.1.2 Mantenimiento correctivo rutinario.

Este tipo de mantenimiento da un tiempo de espera, ya sea porque el equipo aún funciona y sigue cumpliendo con su trabajo o porque este equipo no es crítico, de ser así se debe buscar el momento oportuno para corregir la falla, la avería parcial de estos equipos de criticidad baja no afecta directamente a la producción es decir se puede seguir con los

diferentes procesos mientras se corrige la falla (Abella, 2003).

5.2.3.1.3 Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo.

Las prerrogativas del mantenimiento correctivo son pocas y luego de un tiempo se convierten en desventajas, pues operar sin paradas programadas lleva consigo muchos problemas, una de las ventajas podría ser el bajo costo de mantenimiento mientras el equipo esté en funcionamiento, pero una vez aparezca una falla esta desencadena otra y seguramente los costos de reparación serán mayores, mientras el equipo funcione la disposición de personal para la mantenibilidad del equipo es baja por lo tanto genera un bajo costo de mano de obra, una vez el equipo entre en falla los costos serán más altos que contar con un esquema de mantenimiento preventivo.

En cuanto a las **desventajas** son varias, al momento de que la máquina falla no se puede saber el tiempo de reparación, además puede que los repuestos que se necesiten para la reparación lleven tiempo en adquirirse, por lo tanto, se aumente el tiempo de reparación. Una falla siempre va a desencadenar otra falla pues cuando algún componente empieza a tener un funcionamiento erróneo hace que el resto de las partes o componentes tengan unos esfuerzos ajenos a los normales y provoquen un desgaste más rápido de los elementos que en un principio estaban en buen estado, este malestar provoca un aumento de los costos de reparación. Por otro lado, cuando un equipo se denomina crítico el mantenimiento correctivo debe ser mínimo pues una parada de un equipo importante puede llevar a la detención de toda una línea de producción generando así pérdidas enormes de dinero.

5.2.3.2 Mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento se define como una supervisión planificada, constante, regular y proyectada, así como todas las actividades que son de alta importancia que se realizan en instalaciones y equipos, todo esto con el fin de reducir las emergencias en los activos de las organizaciones y permitir un tiempo mayor de operación.

Este mantenimiento su objetivo es reducir en lo posible interrupciones y la depreciación excesiva de los activos para mantener los equipos y maquinaria en óptimas condiciones de operación; Todo esto nos lleva a decir que este tipo de mantenimiento se realiza de forma prevista, preparada y programada antes del momento en el que pueda generarse una falla.

Para que el mantenimiento preventivo sea costeable debe estar bien planificado y debe ser revisado o actualizado según las condiciones de trabajo de los activos de la compañía con el fin de que los recursos se han dispuestos de forma efectiva y eficiente.

El mantenimiento preventivo se basa en la suma de actividades ya descritas en un plan de mantenimiento, estos planes se realizan de forma cíclica y con unas frecuencias determinadas con el objetivo de prevenir posibles fallas.

Este tiempo de plan de mantenimiento contempla los componentes importantes en el activo, la frecuencia en la que se debe intervenir, los repuestos o materiales requeridos para cada actividad, criterios de revisión con sus respectivos métodos para realizar estas, entre otras.

Las principales actividades del MP que se aplican a los activos radican principalmente en los siguientes aspectos:

- Limpieza. Actividad durante la cual su objetivo es mantenerlos recursos libres de suciedad que impidan su buen funcionamiento.

- Inspección y revisión. Se basa en la observación del estado físico o de variables operativas para determinar el buen funcionamiento del activo.
- Ajuste y calibración. Son las correcciones se realizan a los activos o una de sus partes por el uso.
- Cambio de piezas. Es el reemplazo que se realiza a los componentes que hayan cumplido su vida útil por unos de las mismas especificaciones.
- Lubricación. La aplicación de lubricantes se realiza en intervalos normales o siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Todo esto nos lleva a pensar que entre más industrializada y automatizada estén las organizaciones o empresas mayor es la necesidad de aplicar el mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo resulta indispensable cuando la operación habitual de un activo pone en peligro la seguridad del personal de la empresa y de la comunidad donde este ubicado; ahora bien, si no existen riesgos este se realiza con el objetivo básico de reducir costos.

En algunas organizaciones o empresas esta labor de realizar mantenimiento preventivo la realizan con terceros de acuerdo con una planeación previa, con esto las organizaciones logran optimizar recursos materiales, humanos y económicos. (Medrano, Jose; Gonzalez, Victor; Diaz, Vicente, 2017).

5.2.3.2.1 Ventajas del mantenimiento preventivo

El programa de mantenimiento preventivo coge como referencia las actividades del mantenimiento correctivo; el MP tiene unas ventajas sobre el MC, tales como costo y tiempo de operación del equipo.

Como el objetivo del mantenimiento preventivo es reducir costos por la planeación que se

requiere hacer para afectar lo menos posible la organización, se indicaran algunas de estas ventajas, pero se debe tener en cuenta que estas cambian dependiendo del tipo de industria y requerimientos que se tengan en una organización.

- Seguridad. Cuando se realiza MP a las instalaciones o maquinaria se reduce o previene los accidentes asociados a la falta de mantenimiento preventivo.
- Tiempo muerto. Al realizar este tipo de mantenimiento el cual es planeado se reduce el tiempo muerto por fallas o emergencias por daños en componentes, adicional a esto se realiza en los tiempos que no afecten los intereses de las organizaciones.
- Vida útil. Se mantiene las condiciones de operación y se puede extender la vida útil del equipo.
- Costo de operación. Se reduce el costo ya que los elementos no se dejan ir a falla como en el correctivo lo cual puede en ocasiones dañar otros componentes, el mantenimiento preventivo uno de sus objetivos es prever fallas al hacer esto se reducen los costos de operación
- Inventarios. Es posible reducir los costos de inventarios de refacciones al programar de forma efectiva los mantenimientos y reducir el costo de almacenamiento destinado a repuestos para solucionar fallas.
- Carga de trabajo. Al ser un mantenimiento planeado se administra mejor el recurso humano reduciendo el número de horas extras y tiempos muertos del personal de mantenimiento.
- Calidad de la producción. Al tener un equipo o activo en perfectas condiciones de funcionamiento se disminuye el desperdicio en producción. (Figura 5).



Figura 5. El mantenimiento preventivo aumenta la producción al prevenir fallas futuras.

5.2.3.2.2 *Desventajas del mantenimiento preventivo*

La principal desventaja de MP es que si no se realiza una adecuada gestión y ejecución de este puede salir más costoso que otro tipo de mantenimiento, otras desventajas las cuales se describirán más adelante son la falta de personal calificado, el cambio innecesario de componentes y el mal funcionamiento de los equipos.

- Falta de personal calificado. La falta de este recurso vital para una buena ejecución incrementa los costos por mala manipulación, no tener la experticia para solucionar o analizar situaciones que puedan salir dentro de la ejecución de un mantenimiento preventivo.
- Cambio innecesario de piezas. Al realizar cambio de componentes antes de que lleguen a su vida útil hace que se incrementen los costos de operación.
- Mal funcionamiento del equipo. Intervenir los equipos de forma deficiente o con una frecuencia alta pueden generar fallas en los equipos.

5.2.3.2.3 Diseño de un programa de mantenimiento preventivo

Para ejecutar un buen programa de mantenimiento preventivo se debe realizar una serie de reflexiones o preguntas, con el fin de reducir o eliminar actividades innecesarias. (Medrano, Jose; Gonzalez, Victor; Diaz, Vicente, 2017).

A continuación, se relacionará una serie de parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de un método de mantenimiento.

- Estandarización. Este punto se define o se delimita el equipo, se realizan preguntas como si va a hacer disponible todo el tiempo, se tienen más equipos como este en la empresa, se tiene el personal adecuado para realizar el mantenimiento, etc., estas preguntas nos ayudaran a delimitar las necesidades y recursos.
- Fiabilidad y mantenibilidad. Se realizan preguntas como que garantía tiene el equipo, se puede hacer mantenimiento si llegase a fallar, si funciona el equipo de acuerdo a los estándares del fabricante.
- Partes que requiere de algún tipo de servicio. En este punto se toca el ítem de repuestos, es decir, si se cuenta con el número de partes del equipo, proveedores, tiempos de entrega, si los repuestos son importados o nacionales.
- Capacitación. Se define si el recurso humano disponibles está capacitado para realizar este tipo de actividades, si llegase a no estarlo se define si el proveedor del equipo da la capacitación o si es una capacitación interna.
- Documentación. En este punto se evalúa la información con la que se cuenta manuales de operación, planos mecánicos, eléctricos, etc., toda la que pueda llegase a necesitar para realizar un mantenimiento adecuado.
- Herramientas especiales y equipos de prueba. Aquí se debe definir que herramientas e

instrumentos de medición y ensayo se requieren para realizar un mantenimiento de excelente calidad.

- Seguridad. En este ítem se debe definir qué elementos de seguridad se requiere tanto normativo y de protección personal.

5.2.3.2.4 Recomendaciones para determinar un plan de mantenimiento preventivo

Para realizar un pan de mantenimiento se describirán a continuación algunos aspectos necesarios para la realización de este.

- Recomendaciones del fabricante. Se recaba información de los manuales del fabricante donde se puede observar algunas fallas y posible solución, si no se cuenta con los manuales se puede recabar información de máquinas similares que puedan ayudar a delimitar la máquina y sus componentes.
- Recomendaciones de los operadores. Los operadores son una de las fuentes más importantes pues pueden detectar ruidos anormales, temperaturas, es decir desviaciones en las variables operativas del equipo, se puede recabar en ellos fallas de componentes lo cual puede ayudar como punto de inicio para realizar un buen plan de mantenimiento preventivo.
- Análisis de ingeniería. En este punto es donde se debe complementar la información, es decir, la vida útil del equipo, listado completo de los componentes, variables operativas del equipo, aceites o grasa que requiere el activo, etc., toda la información que ayude a generar un plan de mantenimiento eficiente.
- Periodicidad o frecuencia. Para determinar esta se debe tener información que puede ser suministrada por el fabricante o hacer uso del historial o hoja de vida de la maquina donde se registraron los mantenimientos y cambio de piezas por desgaste o

falla.

- Tiempo de operación. Este se refiere al tiempo desde la puesta en funcionamiento hasta cumplir las horas para el primer mantenimiento, al realizarse este se empieza a contabilizar otra vez el tiempo para el próximo.
- Operaciones especiales. Se refiere a componentes en donde su desgaste es contado por el número de veces que a sido utilizado un ejemplo es un motor de arranque.
- Tiempo de calendario. Es periodo que se le asigna a un componente para ser inspeccionado es decir quincenal, mensual, semestral o anual.
- Inspección. Esta es un punto muy importante para la victoria de un plan de mantenimiento, ya que esto implica la disponibilidad de la maquina por eso determinar la frecuencia y los elementos a los que se les debe hacer la inspección es primordial para el plan de mantenimiento por ejemplo verificar niveles de depósitos, fugas en líneas neumáticas, elementos de regulación que controlen presión, etc.
- Servicio. Este se define como los trabajos que son requeridos para mantener una buena apariencia o funcionamiento tales como limpieza, pintura, tratamiento anticorrosivo, lubricación, revisión o carga de fluidos.
- Reparaciones. Es punto en el cual se deben corregir las fallas, sin hacer cambio de componentes los cuales son como enderezado de una pieza, ajustes y soldadura.
- Cambio de unidades. Son las piezas que se deben cambiar por desgaste en cierto periodo, ciclo o tiempo calendario, estas piezas serán definidas por el fabricante o según la experiencia que se tenga con la maquina o maquinas similares.
- Recomendaciones generales. Todo plan de mantenimiento debe llevar ciertas recomendaciones tales como torque asignados, tensión y todo lo que se necesario para

que el mantenimiento sea efectivo.

5.2.3.3 Mantenimiento predictivo.

Este tipo de mantenimiento busca el descubrimiento de fallas y defectos en las máquinas en etapas prematuras, es decir busca evitar que las pequeñas fallas se conviertan en problemas mayores y generen una detención del equipo sin previo aviso, esta técnica permite evitar el mantenimiento correctivo y todo lo que este conlleva (tiempos muertos, impactos financieros negativos, lucro cesante, etcétera).

Para la detección de fallas en mantenimiento predictivo es necesario que la máquina presente síntomas o señales de alarma como alta temperatura, ruido, vibraciones, alto amperaje, algunas de estas fallas las podemos percibir por medio de los sentidos (Vista, oído, tacto, olfato) y por medio de análisis más a fondo como herramientas estadísticas, análisis vibración, termografías, tribología, análisis de circuitos de motores, ultrasonido, tintas penetrantes, partículas magnéticas, entre otros (Murillo, 2007)

Para realizar este tipo de mantenimiento se requieren de equipos especializados para la recolección de variables y obviamente personal competente para la manipulación del instrumento e interpretación de datos, las principales técnicas son las siguientes (Figura 6).

- Medición y análisis de vibraciones
- Termografía
- Ultrasonido

- Tribología
- Mediciones eléctricas o de calidad de energía.

Con estas técnicas se busca predecir con mayor exactitud una posible desviación y un inminente fallo en un componente.

5.2.3.3.1 Ventajas del mantenimiento predictivo

Con este sistema se obtiene un alto grado de confiabilidad en la operación de los activos además su funcionamiento resulta económico, otra ventaja es que permite tener información en tiempo real como procesos de la planta, estadísticas y diagnóstico del estado actual de los equipos.

5.2.3.3.2 Desventajas del mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento su aplicación puede ser costosa pues requiere de equipos especializados y personal capacitado; si no se realiza capacitaciones eso incrementa la posibilidad de una falla que no allá sido detectada por falta de conocimiento y por consiguiente generara costos.

5.2.3.3.3 Mantenimiento de oportunidad.

Este tipo de mantenimiento es muy eficiente pues es aquel que se lleva a cabo en los períodos de no producción, es decir cuando todos los equipos están detenidos ya sea porque

la empresa cumplió con los requerimientos de producción o hay algún tipo de actividad programada, como un saneamiento de la planta lo cual impide la normal operación. Estos tiempos son cortos y se deben aprovechar al máximo, por ello se debe tener la disponibilidad al cien por ciento por parte del equipo de mantenimiento (Murillo, 2007).

5.2.3.3.4 Mantenimiento proactivo.

El mantenimiento proactivo identifica y corrige las causas de las desviaciones en la maquinaria, este tipo de mantenimiento necesita del compromiso por parte del personal de mantenimiento, pues es la base de este método. También necesita de la pericia y experiencia de los técnicos, quienes, por convicción y decisión, están a la expectativa del funcionamiento de las máquinas y procuran siempre que estas tengan un funcionamiento adecuado. Para la implementación de este mantenimiento es importante capacitar al personal de mantenimiento y de operación de la máquina, para facilitar la identificación de las fallas con el fin de tomar las decisiones pertinentes y dar soluciones eficaces (Murillo, 2007).

5.2.4 Costos de Mantenimiento

En el siguiente cuadro se describirá 5 aspectos que abarcan la parte financiera del mantenimiento. (Lourival Tavares, 2000).

COMPOSICIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO		
Personal	directos	salarios y comisiones
	indirectos	parafiscales y beneficios
	administrativos	rateo de los gastos del área de recursos humanos y capacitaciones, en función de la cantidad de empleados del área de mantenimiento
Material	directos	costos de reposición de material
	indirectos	servicios públicos, almacenaje, personal de almacenaje y compras
	administrativos	gastos del área de compras y administración de material en función de ocupación del personal de almacenaje en mantenimiento
Contratación	directos	costos de los contratos eventuales y permanentes
	indirectos	servicios y recursos utilizados por terceros (transporte, alimentación etc.)

	administrativos	gastos del área contable, financiera en función de área de mantenimiento.
Depreciación	directos	costo de reposición
	indirectos	capital inmovilizado
	administrativos	gastos área contable, control de patrimonio y compra de adquisición de nueva maquinaria y herramienta.
Pérdida de Facturación	directos	perdida de producción
	indirectos	perdida de materia prima, pérdida de calidad, devolución y reprocesos
	administrativos	gastos área de control de calidad, ventas, marketing y jurídica en función del área de mantenimiento.

A continuación, se mencionará los puntos más utilizados en empresas de proceso de producción y servicios (Figura 7).

- El coste de mantenimiento esta dado por la correspondencia entre el coste total de mantenimiento y el costo de producción (este encierra los consumos directos e indirectos de ambos órganos operación y mantenimiento).

$$CCMN = \frac{CTMN}{CTPR} \times 100$$

- Proceso en los esfuerzos de disminución de costos se define como la relación como

el trabajo en mantenimiento proyectado y el costo de mantenimiento por facturación; este nos ayuda a mirar el índice de mejora o deterioro de las acciones de mantenimiento, contra los gastos por facturación de este rubro.

$$PERC = \frac{TBMP}{CMFT}$$

- Coste referente al personal directo o propio. Es una correlación entre los gastos con personal directo y costos total del departamento de mantenimiento en un periodo considerado.

$$CRPP = \frac{\sum CMOP}{CTMN} \times 100$$

- Coste relativo con material. Es la relación entre los gastos de repuesto o materiales y los costos totales del departamento de mantenimiento en un lapso o periodo de tiempo considerado.

$$CRMT = \frac{\sum CMAT}{CTMN} \times 100$$

- Coste de mano de obra externa o tercerización. Es el gasto total de mano de obra contratada para un trabajo o licitación y los gastos totales de mano de obra utilizada en los trabajos contratados en un periodo considerado.

$$CMOE = \frac{\sum CMOC}{\sum (CMOC + CMOP)} \times 100$$

- Coste de mantenimiento con relación a la producción. Esta se da como el costo total de mantenimiento y la producción total en un periodo considerado, este resultado es dimensional pues la producción se da comúnmente en m³, Ton, kW, etc.

$$\text{CMRP} = \frac{\text{CTMN}}{\text{PRTP}} \times 100$$

- Costos de capacitación. Este es un rubro que todas las empresas que quieran tener un departamento eficiente van a generar y está dado por el costo de capacitación por personal de mantenimiento y el costo total de mantenimiento.

Esto nos quiere decir que es la partida de los gastos de mantenimiento, invertida en el desarrollo del personal directo tanto interna y externa.

$$\text{CTET} = \frac{\sum \text{CEPM}}{\text{CTMN}} \times 100$$

- Inmovilización de Repuestos. Es la relación entre el capital invertido en repuestos y equipos en el almacén.

$$\text{IMRP} = \frac{\sum \text{CIRP}}{\sum \text{CIEQ}} \times 100$$

- Costo de Mantenimiento por Valor de Venta. Es una relación que se realiza entre el costo total de mantenimiento acumulado de un equipo o componente y el valor de reventa de este.

$$\text{CMVD} = \frac{\sum \text{CTMN}}{\text{VLVD}} \times 100$$

- Costo Global. Este dado por el valor de la reposición menos la suma del valor de venta con el costo total de mantenimiento en activo o equipo.

$$\text{CMVD} = \text{VLRP} - (\text{VLVD} + \text{CTMN})$$

Se debe ser muy cuidadoso en la reducción de costos pues no se debe afectar la seguridad del personal y tampoco la integridad de los equipos e instalaciones.

5.2.4 Indicadores de Mantenimiento.

A la hora de implementar un indicador hay que tener claro su finalidad principal, delimitar los parámetros y se deben tener objetivos o metas establecidas, para así poder tomar acciones de mejora o correctivas si se requieren.

Los indicadores se deben diseñar a las necesidades de las empresas, pues estas se comportan como un organismo independiente y tienen necesidades diferentes, aunque se han del mismo sector industrial. (Jorge, david, 2004)

A continuación, se describirá los indicadores más relevantes de la actualidad.

- **Fiabilidad.** Es el tiempo en que un activo no presenta ningún tipo de avería y este se puede evaluar en horas, kilómetros, piezas producidas, etc., según la necesidad de la empresa, esto nos indica que si aumentamos este parámetro se logra reducir el número de fallas y de severidad.
- **Disponibilidad.** Es el porcentaje en el cual equipo está disponible para cumplir una función para la cual fue diseñado.

$$D=(t.operativo / t.neto disponible)$$

$$(t.neto disponible = t.total programado + t.de paro programado)$$

$$(t.operativo = t.neto disponible - t. de paros en línea)$$

- **MTBF.** Este nos indica el tiempo medio entre fallas es decir el tiempo entre una falla y la siguiente, estos nos indica que cuanto mayor sea este mayor será la confiabilidad del equipo.

$$MTBF = [\text{Ciclos de operación en total (Km, tons)}] / (\text{N}^\circ \text{ de fallos})$$

$$MTBF= (\text{N}^\circ \text{ horas laborales} - \text{N}^\circ \text{ h. fuera de servicio por averías y revisiones- tiempos de espera}) / \text{N}^\circ \text{ de averías}$$

- **MTTR.** Es el tiempo medio en reparaciones, este nos indica el tiempo en que dura

una reparación de un equipo, al bajar este reducen los tiempos muertos del equipo.

$$\text{MTTR} = (\text{Tiempo invertido en reparaciones}) / (\text{N}^\circ \text{ total de reparaciones})$$

- Calidad. Es el número de productos óptimos obtenidos sin tener que pasar por operaciones correctivas o imprevistas.

$$\text{Calidad} = (\text{N}^\circ \text{ piezas producidas} - \text{N}^\circ \text{ piezas rechazadas}) / (\text{N}^\circ \text{ piezas producidas})$$

- Eficiencia. Este mide las pérdidas de rendimiento por mal funcionamiento de un activo.

$$E = \{(\text{t.ciclo/pieza}) * (\text{N}^\circ \text{ piezas producidas})\} / (\text{t.operativo})$$

- Costos de mantenimiento por facturación. Este es el costo que se invierte en mantenimiento con respecto a lo facturado.

$$\text{CMPF} = (\text{Facturación de la empresa en el periodo}) / (\text{Costos totales de mantenimiento en ese periodo})$$

- OEE. Este es el indicador más importante para medir la competitividad de una planta industrial ya que muestra las pérdidas reales de los equipos, adicional a esto medí también la producción si las maquinas trabajaran al cien por ciento sin ninguna falla.

$$\text{OEE} = \text{Calidad} * \text{Disponibilidad} * \text{Eficiencia}$$

Se debe recordar que las metas de los indicadores van cambiando según las necesidades de las organizaciones.

5.2.5 RCA

Uno de los objetivos más importantes del mantenimiento preventivo y predictivo es disminuir a toda costa las fallas en los equipos con el fin de evitar detenciones de emergencia no

planeadas y lograr la máxima disponibilidad de los equipos, así como reducir los costos de mantenimiento, para esto se debe inicialmente establecer cuales equipos o sistemas son más críticos.

5.2.5.1 Procedimiento de selección.

Esta evaluación es el resultado de un análisis de todos los equipos, componentes o sistemas que al presentar alguna falla podrían causar la detención prolongada de uno o más equipos en una línea de producción.

Una vez se tenga el listado se debe asignar un grado de criticidad en el cual se tiene en cuenta aspectos como: Impacto operacional, costo de reparación, equipo de respaldo, tiempo promedio para reparar, índice de seguridad, índice ambiental, frecuencia de ocurrencia; estos grados van de la siguiente manera:

- a) Equipo muy crítico. Son aquellos sistemas o refacciones que en caso de falla podrían lograr la detención total de la planta o línea de producción.
- b) Equipo crítico. Se pueden catalogar como equipos en los cuales los repuestos se pueden tardar más de 60 días en llegar.
- C) Equipo con prioridad normal. Son equipos que no afectarían la producción de una planta.
- D) Equipo con prioridad baja. Son equipos que se pueden dejar ir a falla sin que vallase a afectar la producción de una planta.

5.2.5.2 Análisis de causa raíz

Para poder realizar un mejor acierto en la frecuencia de mantenimiento de un equipo o componente se realizan una serie de análisis como es la causa raíz; a mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad de localizar el origen o raíz de la falla, al poder hacer esto no resuelve el problema pues se tienen que evaluar o estudiar distintas acciones correctivas.

Para realizar la comprensión o análisis de una falla se puede clasificar estos eventos los cuales se pueden clasificar:

- Análisis de falla de componentes (CFA), es la investigación o estudio de las fragmentos o repuestos dañados.
- Investigación de causa raíz (RCI), esta acoge la anterior y adiciona la investigación de la causa física.
- Análisis de causa raíz (RCA), esta acoge las dos anteriores pero adicional investiga el factor humano.

Se va a ser referencia a la RCA que el análisis más completo que se le puede realizar a un equipo o componente; ya que nos puede dar una mejor visión si fue por error humano, capacitación, falta de procedimiento, lo cual nos puede ayudar a sacar a la luz raíces latentes, que nos puede indicar que de no ser corregida se vuelve una falla continua o repetitiva. (Altmann, Carolina, 2006)

Este tipo de análisis de causa raíz (RCA) tiene varias factores los cuales son:

- Análisis de Fallas, tiene como objetivo eliminar fallas continuas de equipos críticos, lo cual se define como una aplicación proactiva.

- Análisis de errores de operación o humanos, en cuanto al diseño o mal aplicación del procedimiento.
- Análisis de accidentes e incidentes.

Como conclusión se puede afirmar que este tipo de análisis (RCA) es un proceso de deducciones lógicas que permiten graficar o hacer una correlación entre causa y efecto que nos ayudara a descubrir un evento.

5.3 Marco normativo y legal.

Norma	Numeral	Observación
Decreto 3075 de 1997 Buenas prácticas de manufactura.	Toda	implementación de directrices destinadas a la elaboración inocua de los alimentos, con el objetivo de proteger la salud de los consumidores.
Generación de olores ofensivos	Decreto 1541	Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones.

Captación de agua	Resolución 250	Por la cual se fijan tasas para el aprovechamiento de aguas subterráneas.
captación de agua subterránea	Ley 373	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Calidad del agua	Decreto 1575	Se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Deroga al Decreto 475 de 1998 y el Art. 52 del Decreto 1594 de 1984)
Consumo de energía	Ley 697	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 186	Se establece el programa para el uso eficiente y ahorro de la energía.

--	--	--

5.4 Marco Histórico.

Postobón S.A es una compañía colombiana de gran trayectoria, en su portafolio de productos cuenta con una variedad de bebidas entre ellas cerveza, jugos, agua, energizantes, té, hidratantes, entre otras. Su origen data del 11 de octubre de 1904 cuando los señores Gabriel Posada y Valerio Tobón empezaron a producir su primer refresco llamado “Cola Champaña”, hoy gaseosa colombiana “la nuestra” en la ciudad de Medellín, Colombia. Desde ese entonces la compañía ha estado en continuo crecimiento, hoy en día hace parte de las 100 empresas más importantes del país, esto gracias a la transformación que aún no termina dada por parte del Doctor Carlos Ardila Lulle desde 1950, él ingeniero civil bumangués empezó a trabajar en la planta de gaseosas Lux de la ciudad de Bogotá , gracias a su capacidad logro el crecimiento de la compañía en 1968 gaseosas Lux se fusionó con Postobón S.A nombrando en ese momento al doctor Carlos Ardila Lule como presidente de la compañía. De esta forma se empezó a trazar el punto de partida de una de las empresas más grandes e importantes de Colombia: la organización Ardila Lulle.

6 Marco metodológico.

6.1 Recolección de la información.

6.1.1 Tipo de investigación.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none">• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
<ul style="list-style-type: none">• Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
<ul style="list-style-type: none">• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
<ul style="list-style-type: none">• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
<ul style="list-style-type: none">• Explicativa	Da razones del porqué de los fenómenos.
<ul style="list-style-type: none">• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
<ul style="list-style-type: none">• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
<ul style="list-style-type: none">• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
<ul style="list-style-type: none">• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

Tomado de la guía metodológica ECCI.

Ilustración 2 Tipos de investigación.

El presente trabajo de investigación será desarrollado bajo el tipo de investigación histórica y documental ya que se analizan eventos del pasado e información escrita sobre el tema de objeto de estudio con el fin de desplegar la propuesta de mantenimiento preventivo para la máquina llenadora de bolsas Solpac.

6.1.2 Fuentes de obtención de investigación.

6.1.2.1 Fuentes primarias.

Para el trabajo en mención la información ha sido extraída del personal de mantenimiento (técnicos, supervisores); los operadores de la máquina y supervisor de calidad quienes están en contacto directo con el activo; además del recurso humano se cuenta con manuales de despiece de la máquina y recomendaciones de mantenimiento realizadas por el fabricante.

6.1.2.2 Fuentes secundarias.

El presente trabajo de grado fue vasado en referencias bibliográficas, trabajos de grado, tesis y libros relacionados con la gestión de mantenimiento.

6.1.3 Herramientas

Para el presente proyecto de investigación se hace necesario el uso de herramientas de mantenimiento que ayuden al tratamiento de la información como:

- Análisis de criticidad.

6.1.4 Metodología

A continuación, se cuenta la metodología a seguir para dar solución a los objetivos de investigación.

Para el resolver del objetivo número 1 “Establecer las condiciones actuales de mantenimiento en la máquina” se hará un análisis de los procedimientos recientes que se llevan toda vez que ocurre una falla, la manera en la cual se suman esfuerzos y las técnicas utilizadas para la gestión en el activo.

Para el desarrollo del objetivo número 2 “Determinar la metodología más adecuada para la gestión del mantenimiento de la máquina llenadora de bolsas Solpac” se hará una evaluación a partir de las fallas de mayor impacto en cuanto a tiempos medios de reparación y número

de desperfectos; con esto se esperan cambios en los métodos que hasta la fecha se llevan sobre el activo con miras a generar un impacto positivo en la disponibilidad y confiabilidad de la máquina.

Para el desarrollo del objetivo 3 “Realizar una propuesta de plan de mantenimiento para la máquina llenadora de bolsas Solpac”. Una vez se tenga claro los diferentes procedimientos de mantenimiento para mitigar las fallas con mayor frecuencia establecerá un plan de mantenimiento bajo una matriz de decisión RCM II la cual dará como resultado las tareas de mantenimiento para cada falla funcional y sus modos de falla.

6.1.5 Recopilación de la información.

La máquina llenadora de bolsas Solpac opera 24 horas al día durante 6 días de la semana, para la ejecución del mantenimiento cuenta con 8 horas autorizadas dentro de la producción y el domingo de 6 am a las 10 pm. La gestión de mantenimiento está a cargo del planeador, supervisor y técnicos de mantenimiento quienes se encargan de la programación y ejecución tanto de mantenimiento preventivo como correctivo; durante la producción cuenta con acompañamiento permanente de un técnico de turno.

6.1.5.1 Subsistemas anteriores a la máquina.

la máquina llenadora de bolsas Solpac es precedida por:

- a) Planta de tratamiento desde donde se suministra el agua de envasado y el agua suavizada para la refrigeración.
- b) Equipo ozonizador Polaris quien produce ozono y posteriormente lo mezcla con el producto que proviene de la planta de agua para luego ir al tanque de almacenamiento de la máquina.
- c) Compresor Atlas Copco encargado de suministra el aire comprimido para el generador de ozono Polaris y los sistemas neumáticos de la máquina.
- d) Almacén de materia prima quien suministran la lámina de plástico para el proceso.

Luego de obtener el producto terminado las bolsas son almacenadas en cajas plásticas y agrupadas en estibas para su traslado a los diferentes centros de distribución a nivel nacional.

6.1.5.2 Principio de funcionamiento:

La máquina llenadora de bolsas Solpac está compuesta por los siguientes sistemas: mecánico, neumático, eléctrico y electrónico de control.

- a) Sistema mecánico:
 - Transmisión principal: se compone de un eje principal el cual cuenta levas y resortes accionado a partir de un motorreductor que permiten la apertura
- b) Sistema neumático: se compone de válvulas de paso de agua, electroválvulas y pistones de simple y doble efecto los cuales se encargan de la dosificación del producto, accionamiento de los troqueles apertura de orificios para agarre de la bolsa, dosificación de producto.
- c) Sistema eléctrico: se compone de transformadores y protecciones para el control de la potencia en la máquina.
- d) Sistema electrónico de control: Está compuesto por un PLC Simatic s71200 el cual se encarga de dar las órdenes a los diferentes sistemas y subsistemas de la máquina.

El motor principal permite la rotación del árbol de levas en la máquina generando la apertura y cierre de las prensas; por medio de un encoder se alimenta datos de posición del eje principal al PLC para que este determine los momentos exactos de accionamiento de los pistones, sellos, arrastre y dosificación en la bolsa; todos los accionamientos son controlados por medio de temporizadores inmersos en el programa del PLC y se modifican en función de la velocidad de la máquina pues esta es capaz de producir entre 14 y 20 bolsas por minuto.

En el proceso de producción la bolsa es monitoreada por el departamento de calidad; ellos se encargan de hacer diferentes análisis fisicoquímicos que garanticen óptimas condiciones de operación. En cuanto a las condiciones que debe garantizar el departamento de mantenimiento para la presentación de 6 litros radican en: la bolsa terminada debe tener un contenido de mínimo 6050 ml, debe contar con tres perforaciones en la manija para facilitar su traslado y finalmente sus sellos deben ser capaces de resistir una presión sobre la bolsa de 90 Psi generada por acción neumática de un pistón.

6.1.5.3 Fallas recurrentes

Dentro de las fallas identificadas de mayor frecuencia en la máquina se tiene:

Problema	% de desperfecto	T. perdido mensual
a) Ruptura de resistencias por uso, encargadas de realizar los sellos en la bolsa.	12%	150 min
b) Fuga de agua en sistema de dosificación por desgaste de empaquetadura.	8%	240 min
c) Problemas en los sellos por estado de las resistencias.	60%	900 min
d) Problema en los troqueles que hacen los orificios para cargar la bolsa.	4%	30 min
e) Nivel de producto fuera de parámetros (mínimo 6027 ml, máximo 6100 ml)	4%	N/A
f) Falla en la codificación de la bolsa.	2%	30 min
g) Arruga en los sellos.	10%	indeterminado
TOTAL TIEMPOS (minutos)	total t. perdido	1350

Tabla 2 Fallas frecuentes vs tiempo perdido.

Estas fallas son las causantes de una pérdida en producción que haciende a 21600 bolsas mensuales para un total aproximado de 259200 bolsas anuales.

6.1.5.4 Desperfectos

A la fecha desde enero de 2018 a agosto se tienen los siguientes datos sobre los desperfectos en la máquina llenadora de bolsas.

Desperfectos		Costo mes/desperfectos
Enero	72000	39564000
Febrero	78460	43113770
Marzo	62460	34321770
Abril	76900	42256550
Mayo	69000	37915500
Junio	59600	32750200
Julio	74800	41102600
Agosto	67000	36816500
Total	560220	\$ 307.840.890
costo total		

Tabla 3 Desperfectos

Esta cantidad de desperfectos a la fecha ha ocasionado un detrimento de 307 millones aproximadamente en costo de materia prima. (ver anexo N. 1)

6.1.5.5 Estado actual de gestión de mantenimiento en la máquina.

Las actividades de mantenimiento para la máquina en la actualidad son correctivas en su mayoría pues la información de mantenimiento preventivo recomendada por el fabricante al momento de su compra fue desechada ya que se basaba en frecuencias de tiempo y no bajo las condiciones de operación o producción de la máquina; fuera de esto el fabricante tuvo inconvenientes con la información de diseño de la máquina un problema bastante complicado ya que los repuestos solicitados llegan con variaciones en sus dimensiones cambiando así las condiciones de operación dificultando las labores de mantenimiento. En la actualidad el promedio anual para el presupuesto de mantenimiento oscila en los 180 millones de pesos.

6.2 Análisis de la información

6.2.1 Técnica de mantenimiento para la máquina llenadora de bolsas.

La técnica de mantenimiento que actualmente se usa es del orden correctivo en su mayoría, este tipo de técnica acarrea grandes costos pues en la mayoría de los casos no se está preparado para las fallas generando un aumento de los tiempos de reparación, indisponibilidad de repuestos, desgaste prematuro de otros componentes, etcétera; dado que no se tiene un historial fuerte en el mantenimiento de la máquina y que el producto terminado es de consumo humano se crea la necesidad en principio de realizar una propuesta de mantenimiento preventivo que aumente la disponibilidad y confiabilidad. Una vez esta técnica sea implementada será el paso inicial en miras de técnicas más avanzadas como RCM o TPM, técnicas que necesitan de un plan de un historial de mantenimiento sólido.

Luego de realizar una recopilación de la información se hace necesario el uso de 1 herramienta importante en la gestión del mantenimiento con el fin de identificar el impacto de las fallas recurrentes para su posterior tratamiento.

6.2.2 Análisis de criticidad.

A partir de las fallas de mayor recurrencia en la máquina se hace una evaluación bajo análisis de criticidad con el fin de determinar el cambio en el impacto global teniendo en cuenta factores como: frecuencia de falla, tiempo medio para reparar, impacto sobre la producción,



Ilustración 3 Análisis de criticidad.

coste de reparación, impacto ambiental, impacto en la salud y la seguridad, impacto satisfacción del cliente. Al final de este ejercicio nos muestra que el sistema más crítico en la máquina por su impacto global es el sistema de sellado y la ruptura de las resistencias como se observa en la ilustración 3. Gracias a este resultado podemos decir que los esfuerzos y presupuesto deben ser sumarlos entorno a estas fallas con el fin de obtener resultados positivos.

6.3 Propuesta de solución

La propuesta de solución para la máquina llenadora de bolsas Solpac radica en un plan de mantenimiento preventivo basado en el número de ciclos (número de bolsas producidas); y tiene en cuenta la compra de un componente importante para mitigar el tiempo perdido en la ruptura de la resistencia (sello de corte).

6.3.1 Solución a 3 de las fallas con mayor impacto descritas en el análisis de criticidad.

- a) Falla en el sistema de dosificación: El sistema de dosificación es sensible en cuanto a la calidad e inocuidad del producto terminado pues en cada intervención que se haga desde mantenimiento se debe tener unos protocolos posteriores de limpieza y desinfección de tal manera que cualquiera que sea la intervención en el sistema va a implicar tiempos de sanitizado de la máquina; en la mayoría de los casos tiempo que supera las 2 horas de detención, es decir que alrededor de 2000 bolsas se dejaron de producir por cada evento en el sistema. La falla usual radica en el desgaste de un empaque cuya función es impedir que agua de producto de envasado salga por el pistón el cual genera la apertura y posterior dosificado en el envase. Actualmente esta novedad se trata como mantenimiento correctivo, a lo largo del mes pueden ocurrir alrededor de 3 eventos; aprovechando que la máquina cuenta semanalmente con un

día completo para el mantenimiento se propone el cambio semanal del empaque con esto el impacto del cambio y sanitización del sistema será mínimo pues no tendrá tiempo perdido en producción generando un impacto positivo en los indicadores.

- b) Falla sistema de sellado: las fallas en el sistema de sellado en la máquina radican en el estado de las resistencias, a lo largo de la vida útil de cada resistencia 95 mil bolsas aproximadamente es necesario hacer ajustes en marcha, al final de cada mes estas maniobras correctivas toman alrededor de 900 min (14 mil bolsas) cifra alarmante, para la solución de esta falla se plantea el cambio diario de las resistencias durante el tiempo en el cual los operarios de la línea se encuentran en alimentos, para lograr esto se hace necesario al adquisición de los componentes en los cuales van las resistencias para que la maniobra se convierta en la sustitución del componente con resistencias nuevas, de esta manera se lograra un impacto directo al tiempo que toma los ajustes en marcha, en el número de producto no conforme y las posibles reclamaciones de los clientes o centros de distribución.
- c) Falla ruptura de las resistencias: Esta novedad es un modo de falla del sistema de sellado mencionado anteriormente, ocurre a último momento cuando el material falla por el su uso; a la fecha los sellos de la máquina ocasionados por las resistencias se llevan hasta el fallo, es decir hacen parte del mantenimiento correctivo, además la reparación de cualquiera de las 4 resistencias toma alrededor de 40 min razón por la cual se lleva a la falla. Se tiene registros de 5 eventos mensuales aproximadamente dependiendo de las especificaciones en los espesores de la lámina de plástico (materia prima) pues a mayores espesores se hace inevitable un aumento de las temperaturas de las resistencias fatigando prematuramente el material que posteriormente ocasiona

la ruptura; en los datos históricos esta falla equipara 150 min mensuales aproximadamente (2500 bolsas), para hacer un mantenimiento preventivo es necesario la compra de las piezas en las cuales van las resistencias con el ánimo de generar un cambio de resistencia que toma alrededor de 3 min y no una reparación que toma 40 min.

6.3.2 Propuesta de plan de mantenimiento.

A continuación, se enuncia el plan de mantenimiento propuesto, este es generado acorde a los datos recopilados y al análisis desarrollado sobre ellos.

Tarea	Frecuencia
Cambio de unidad de mantenimiento con filtros	Semestral
Cambios reguladores de caudal	Semestral
Cambio vías neumáticas e hidráulicas 8 mm	trimestral
cambio cilindro neumático dosificación	Semestral
cambio cilindro neumático acción troqueles	trimestral
Cambio vías neumáticas e hidráulicas 6 mm	trimestral
Cambio cilindro neumático acción vertical	Semestral
Cambio electroválvulas 5/2	Anual
Cambio electroválvulas 5/2	Anual
Cambio válvula de asiento inclinado	Anual
Cambio de contactor 3 líneas	anual
Cambio de relé estado solido	semestral
cambio de relé electrónico	semestral
Cambio base de relé	semestral
cambio control JCL	Anual
Cambio fuente 24 VDC	Anual
Cambio fuente codificador 24 VDC	Anual
Mantenimiento transformador 24 VDC	Semestral
Cambios selectores	Anual
Cambio paro de emergencia	Anual
Mantenimiento motor trifásico 5 HP	Anual
Mantenimiento motor trifásico 0.8 HP	Anual
Mantenimiento motor desembobinador	Anual
Cambio leva interna	Anual
Cambio maguiles 5/8	semestral
Cambio resorte interior	Trimestral
Cambio resorte exterior	Trimestral
Cambio bujes de bronce	semestral
Cambio ejes prensa	semestral
Cambio Pivote maguil	Anual
Cambio piñón arrastre	Anual
Cambio rodillos de arrastre	Anual
Cambio correa dentada	semestral
Cambio brazo de arrastre	Anual
Cambio ejes sistema de arrastre	Anual
Cambio de rodamientos ref 6005 inox	semestral
Cambio resistencia de corte	diaria
resistencia de doble sello	diaria
Lubricación	semanal

Ilustración 4 Propuesta de plan de mantenimiento preventivo

7 Impactos esperados

A partir de las modificaciones en el mantenimiento que se lleva sobre la máquina, la compra de los repuestos sugeridos se tiene como expectativa una reducción del 70 a 80% en el número de bolsas no conformes (28 millones de pesos mensuales) y del 50 al 60% en los tiempos perdidos; con esto se lograra que aproximadamente 60.000 bolsas al mes que antes no estaban disponibles por tiempo perdido en labores correctivas de mantenimiento o la cantidad de bolsas no conformes salgan como producto terminado bajo los estándares de calidad.

Problema	Tiempo esperado
a) Ruptura de resistencias por uso, encargadas de realizar los sellos en la bolsa.	50 min
b) Fuga de agua en sistema de dosificación por desgaste de empaquetadura.	120 min
c) Problemas en los sellos por estado de las resistencias.	300 min
d) Problema en los troqueles que hacen los orificios para cargar la bolsa.	30 min
e) Nivel de producto fuera de parámetros (mínimo 6027 ml, máximo 6100 ml)	N/A
f) Falla en la codificación de la bolsa.	30 min
g) Arruga en los sellos.	Indeterminado
TOTAL TIEMPOS (minutos)	530

Tabla 4 Tiempos perdidos esperados

Desperfectos		Costo mes/desperfectos
Enero	72000	39564000
Febrero	78460	43113770
Marzo	62460	34321770
Abril	76900	42256550
Mayo	69000	37915500
Junio	59600	32750200
Julio	74800	41102600
Agosto	67000	36816500
Total	560220	\$ 307.840.890
costo total		

Ilustración 5 Costo por desperfectos.

Apróx. Desperfecto/mes	Apróx. Desperfecto esperado	
70000	17500	Disminución del 75%

Tabla 5 Desperfectos esperados

Nota: En lo que va corrido del año 2018 al mes de agosto se ha perdido trescientos siete millones de pesos (\$307000000) aproximadamente por conceptos de desperfectos.

8 Análisis financiero.

A continuación, se describen los costos de la propuesta de mantenimiento preventivo, stock mínimo de repuestos, adquisición de las piezas necesarias para la solución del problema de ruptura y estado de las resistencias y mano de obra.

8.1 Costo propuesta plan de mantenimiento preventivo

El costo total del plan de mantenimiento involucra la totalidad de las refacciones a utilizar durante un año. Se tiene:

Tarea	Frecuencia	Costo
Cambio de unidad de mantenimiento con filtros	Semestral	\$ 800.000,00
Cambios reguladores de caudal	Semestral	\$ 800.000,00
Cambio vías neumáticas e hidráulicas 8 mm	trimestral	\$ 800.000,00
cambio cilindro neumático dosificación	Semestral	\$ 220.000,00
cambio cilindro neumático acción troqueles	trimestral	\$ 7.200.000,00
Cambio vías neumáticas e hidráulicas 6 mm	trimestral	\$ 340.000,00
Cambio cilindro neumático acción vertical	Semestral	\$ 720.000,00
Cambio electroválvulas 5/2	Anual	\$ 4.000.000,00
Cambio electroválvulas 5/2	Anual	\$ 3.200.000,00
Cambio válvula de asiento inclinado	Anual	\$ 840.000,00
Cambio de contactor 3 líneas	anual	\$ 990.000,00
Cambio de relé estado solido	semestral	\$ 855.000,00
cambio de relé electrónico	semestral	\$ 2.200.000,00
Cambio base de relé	semestral	\$ 300.000,00
cambio control JCL	Anual	\$ 250.000,00
Cambio fuente 24 VDC	Anual	\$ 1.600.000,00
Cambio fuente codificador 24 VDC	Anual	\$ 1.800.000,00
Mantenimiento transformador 24 VDC	Semestral	\$ 280.000,00
Cambios selectores	Anual	\$ 260.000,00
Cambio paro de emergencia	Anual	\$ 90.000,00
Mantenimiento motor trifásico 5 HP	Anual	\$ 480.000,00
Mantenimiento motor trifásico 0.8 HP	Anual	\$ 300.000,00
Mantenimiento motor desembobinador	Anual	\$ 120.000,00
Cambio leva interna	Anual	\$ 440.000
Cambio maguiles 5/8	semestral	\$ 1.000.000
Cambio resorte interior	Trimestral	\$ 1.568.000
Cambio resorte exterior	Trimestral	\$ 1.568.000
Cambio bujes de bronce	semestral	\$ 5.200.000
Cambio ejes prensa	semestral	\$ 2.800.000
Cambio Pivote maguil	Anual	\$ 190.000
Cambio piñón arrastre	Anual	\$ 90.000
Cambio rodillos de arrastre	Anual	\$ 540.000
Cambio correa dentada	semestral	\$ 540.000
Cambio brazo de arrastre	Anual	\$ 370.000
Cambio ejes sistema de arrastre	Anual	\$ 170.000
Cambio de rodamientos ref 6005 inox	semestral	\$ 500.000
Cambio resistencia de corte	diaria	\$ 14.400.000
resistencia de doble sello	diaria	\$ 28.800.000
Lubricación	semanal	\$ 3.600.000
Costo total	\$	90.221.000,00

Ilustración 6 Costo total plan de mantenimiento preventivo

8.1.1 Costo stock mínimo de repuestos.

A continuación, se describen los costos del stock mínimo de refacciones por cada sistema y su almacenamiento.

stock mínimo sistema neumático					
cantidad	nombre	valor unitario	total	T. llegada en dias	Costo bodegaje
1	unidad de mantenimiento FESTO	\$ 400.000,00	\$ 400.000,00	45	\$ 60.000,00
2	regulador de caudal FESTO	\$ 80.000,00	\$ 160.000,00	15	\$ 24.000,00
50 m	Manguera 8 mm 100 metros FESTO	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	15	\$ 30.000,00
1	cilindro neumatico dosificador FES	\$ 110.000,00	\$ 110.000,00	20	\$ 16.500,00
3	cilindro neumatico perforador FES	\$ 400.000,00	\$ 1.200.000,00	20	\$ 180.000,00
50 m	manguera 6 mm 50 metros FESTO	\$ 85.000,00	\$ 85.000,00	15	\$ 12.750,00
2	cilindro neumatico accion vertical	\$ 90.000,00	\$ 180.000,00	20	\$ 27.000,00
2	electrovalvula 5/2 FESTO	\$ 400.000,00	\$ 800.000,00	25	\$ 120.000,00
2	electrovalvula 3/2 FESTO	\$ 320.000,00	\$ 640.000,00	25	\$ 96.000,00
1	valvula de aciento inclinado 2''	420000	\$ 420.000,00	30	\$ 63.000,00
		TOTAL	\$ 4.195.000,00	T. costo bodegaj	\$ 629.250,00

Ilustración 7 Stock mínimo sistema neumático

stock mínimo sistema eléctrico y electrónico					
cantidad	nombre	valor unitario	Total	T. llegada dias	Costo bodegaje
1	PLC S7 1200 SIMENS PROGRAMAD	\$ 2.000.000,00	\$ 2.000.000,00	90	\$ 300.000,00
1	Variador micromaster 420	\$ 800.000,00	\$ 800.000,00	90	\$ 120.000,00
3	contactor tres faces 6 A	\$ 110.000,00	\$ 330.000,00	60	\$ 49.500,00
3	Rele estado solido 24 VDC	\$ 95.000,00	\$ 285.000,00	15	\$ 42.750,00
10	Rele electronico	\$ 110.000,00	\$ 1.100.000,00	15	\$ 165.000,00
2	Base rele electronico	\$ 75.000,00	\$ 150.000,00	15	\$ 22.500,00
1	control de nivel JCL	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00	60	\$ 37.500,00
1	Fuente 24 VDC	\$ 1.600.000,00	\$ 1.600.000,00	15	\$ 240.000,00
1	Fuente codificador 24VDC	\$ 1.800.000,00	\$ 1.800.000,00	60	\$ 270.000,00
2	Transformador 110 v	\$ 650.000,00	\$ 1.300.000,00	20	\$ 195.000,00
2	selector 2 posiciones	\$ 65.000,00	\$ 130.000,00	15	\$ 19.500,00
1	Paro de emergencia	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	15	\$ 13.500,00
1	Motor trifacico 5 HP	\$ 1.800.000,00	\$ 1.800.000,00	45	\$ 270.000,00
1	Motor trifacico 0,8 HP	\$ 600.000,00	\$ 600.000,00	45	\$ 90.000,00
2	Breaker monofacico 5 A	\$ 60.000,00	\$ 120.000,00	15	\$ 18.000,00
1	breake trifacico 8 A	\$ 75.000,00	\$ 75.000,00	15	\$ 11.250,00
1	Pulsador NO 110V	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	15	\$ 3.750,00
1	cable calibre 12 , 3A. 50m	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00	15	\$ 9.000,00
1	Cable calibre 14 , 3A. 50M	\$ 48.000,00	\$ 48.000,00	15	\$ 7.200,00
1	Motor desembobinador 0,5 HP	\$ 320.000,00	\$ 320.000,00	45	\$ 48.000,00
1	encoder	\$ 950.000,00	\$ 950.000,00	45	\$ 142.500,00
1	sensor fotoelectronico	\$ 550.000,00	\$ 550.000,00	15	\$ 82.500,00
3	sensor inductivo ref 316	\$ 280.000,00	\$ 840.000,00	30	\$ 126.000,00
1	sensor inductvo r45	\$ 350.000,00	\$ 350.000,00	30	\$ 52.500,00
TOTAL			\$ 15.573.000,00	T. costo bodegaj	\$ 2.335.950,00

Ilustración 8 Stock mínimo sistema eléctrico y electrónico.

stock minimo de repuestos mecánico					
cantidad	nombre	valor unitario	Total	T. llegada dias	Costo bodegaje
2	leva interna	220000	440000	30	\$ 66.000,00
4	maguil 5/8	125000	500000	15	\$ 75.000,00
4	RESORTE INTERIOR EN 1070	98000	392000	8	\$ 58.800,00
4	RESORTE EXTERIOR EN 1070	98000	392000	8	\$ 58.800,00
2	Bujes en bronce	1300000	2600000	30	\$ 390.000,00
2	eje prensa	700000	1400000	60	\$ 210.000,00
1	pivote soporte maguil	190000	190000	30	\$ 28.500,00
2	piñon de arrastre	45000	90000	30	\$ 13.500,00
4	rodillos de arrastre	135000	540000	20	\$ 81.000,00
3	correa dentada ref 205	90000	270000	20	\$ 40.500,00
2	brazo arrastre	185000	370000	20	\$ 55.500,00
2	eje sistema de arrastre	85000	170000	15	\$ 25.500,00
10	rodamiento inox 6005	25000	250000	30	\$ 37.500,00
2	rodillo para lamina	45000	90000	20	\$ 13.500,00
50 m	resistencia de corte	100000	5000000	8	\$ 25.000,00
50 m	resistencia plana	100000	5000000	5000000	\$ 25.000,00
TOTAL			\$ 17.694.000	T. costo bodegaj	\$ 1.204.100,00

Ilustración 9 Stock mínimo de repuestos mecánico

stock minimo lubricantes					
cantidad	nombre	valor unitario	Total	T. llegada dias	Costo bodegaje
10	Cartucho interflon	120000	1200000	15	\$ 180.000,00
5	Rost off penetrante wurth	95000	475000	15	\$ 71.250,00
5	Grasa liquida wurth	95000	475000	15	\$ 71.250,00
3	Limpiador wurth	115000	345000	15	\$ 51.750,00
2	Toallas limpiadoras	45000	90000	8	\$ 13.500,00
		TOTAL	2585000	T. costo bodegaj	\$ 387.750,00

Ilustración 10 Stock mínimo lubricantes

8.1.2 Costo adquisición de materiales para mitigar modos de falla del análisis de criticidad.

La compra de los componentes en los cuales se alberga las resistencias de sellado permitirá mitigar el tiempo perdido y la cantidad de desperfectos de la máquina, el costo es:

Componentes para compra			
cantidad	nombre	valor unitario	Total
1	Placa porta resistencia de corte	\$	4.000.000
1	Placa porta resistencia de sellos	\$	2.500.000
		Total	\$ 6.500.000,00

Ilustración 11 Componentes para compra

8.1.3 Costo anual nómina del personal de mantenimiento (Técnicos)

El costo anual en la nómina del personal de mantenimiento incluye un acompañamiento permanente durante la producción y las horas extras estimadas para mantenimiento preventivo.

Análisis costo personal de mantenimiento	
salario basico	\$ 1.650.000
horas extras	\$ 85.938
Aux de transporte	\$ 88.211
% riesgo laboral	\$ 0
Hora extra normal	\$ 6.875
Recargo nocturno	\$ 115.500
Descuento salud y pension	\$ 148.115
Total ingreso bruto sin aux trans	\$ 1.851.438
Total ingreso bruto con aux trans	\$ 1.939.649
Total ingreso teniendo en cuenta descuentos de ley	\$ 1.791.534
Número de horas en recargo nocturno	\$ 48
Seguridad social= basico + extras	\$ 508.405
Pension?= basico+ extras * 0.12	\$ 222.173
Salud= basico + extras * 0.085	\$ 157.372
Arl=basico + extras * depende	\$ 128.860
Parafiscales =basico+horas extras	\$ 166.629
ICBF= (basico+extras)*0,03	\$ 55.543
SENA= basico+horas extras*0,02	\$ 37.029
Caja compensacion= basico + extras* 0,04	\$ 74.058
Prestaciones= cesantias+ primas+ vacaciones+ intereses cesantias	\$ 390.950
Cesantias= sueldo+ extras+ aux trans	\$ 151.952
Primas= sueldo+ extras+ aux trans	\$ 151.952
Vaciones = sueldo *0,0417	\$ 68.805
Intereses cesantias= sueldo+ extras+ aux trans	\$ 18.241
Costo total	\$ 2.890.132
Costo total 3 tecnicos	\$ 8.670.397
Costo total nómina anual de mantenimiento	\$ 104.044.761

Ilustración 12 Costo nómina técnico de Mantenimiento.

8.1.4 Costo total.

Costo anual directo de mantenimiento	
Costo stock mínimo	\$ 43.737.800,00
Costo Nómina	\$ 104.044.761
Plan PM	\$ 90.221.000
Herramientas	\$ 18.000.000
Total	\$ 256.003.560,55

Ilustración 13 Costo total directo de mantenimiento

8.1.5 Resultados costos

El presupuesto anual de mantenimiento del año inmediatamente anterior fue de aproximadamente **180 millones** de pesos; la actual propuesta de mantenimiento llega a los **256 millones** de pesos, un aumento del **42 %**, este incremento radica en el nuevo plan de mantenimiento que presenta varias modificaciones y además cuenta con un stock mínimo de repuestos completamente definido, la adquisición de piezas nuevas para el tratamiento de las fallas más agravantes y mano de obra por parte de personal de mantenimiento. Con esta propuesta de mantenimiento se espera la reducción de los costos por material de desperfectos de **336 millones** de pesos anuales y un incremento en la capacidad de producción de **60 mil** bolsas mensuales aproximadamente.

8.1.6 ROI

A partir del análisis ROI podemos calcular el retorno de inversión, en este caso se tienen en cuenta los dineros de inversión comparados con las posibles ganancias, para el presente proyecto se espera un retorno de inversión del 342%, esta cifra de alta envergadura radica en el impacto que el proyecto tiene en la reducción del costo generado por bolsas no conformes. A modo de comparación esto significa que aproximadamente en los 3 meses siguientes a la implementación y cambio en la metodología de mantenimiento se habrá recuperado el dinero invertido.

$$ROI = \frac{\textit{Beneficios} - \textit{Inversion}}{\textit{Inversion}}$$

$$ROI = \frac{336000000 - 76000000}{76000000} \times 100 \quad ROI = 342\%$$

Con lo anterior se concluye que en el periodo se recuperará la inversión y se generará una utilidad de 2.42 veces la misma, es decir el proyecto es factible para la organización.

9 Conclusiones y recomendaciones.

9.1 Conclusiones

- La máquina llenadora de bolsas Solpac finalmente es un equipo eficaz pues cumple con los requerimientos de producción, pero no es eficiente ya que la cantidad de desperfectos y tiempos perdidos en las detenciones por fallas tienen un impacto económico y ambiental de gran envergadura.
- La metodología más adecuada para la máquina llenadora de bolsas Solpac 2006 es mantenimiento preventivo pues se alinea a los requerimientos actuales de la planta, siendo la base para en el futuro lograr implementar un sistema corporativo que garantice la máxima capacidad de producción como TPM.
- La gestión de activos es indispensable a la hora de disminuir costos, garantizar confiabilidad, disponibilidad y calidad en los procesos industriales.
- La adquisición de las piezas de recambio en las cuales están alojadas las resistencias que generan los sellos en la bolsa permitirán un aumento de 60 mil bolsas mensuales ya que habrá una disminución en los tiempos perdidos por sus modos de falla.
- Los sistemas de dosificación y sellado de la bolsa son los más críticos en la máquina, equiparan el 85% del tiempo perdido y 60 mil bolsas mensuales de desperfectos.

10 Bibliografía

- Allali, Hamid. (2016). PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA VEHICULAR MEGALOG. VALENCIA, ESPAÑA.
- Altmann, Carolina. (2006). EL ANALISIS DE CAUSA RAIZ, COMO EN LA MEJORA DE LA CONFIABILIDAD. 1-2-4-5. MONTEVIDEO, URUGUAY: CONGRESO URUGUAYO DE MANTENIMIENTO.
- Angel, Rafael; Olaya, Hector. (2014). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA EMPRESA AGROANGEL. PEREIRA, COLOMBIA.
- Angulo, Cristian. (2017). PROPUESTA DE MODIFICACION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD DE LOS GRUPOS GENERADORES DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA CAHUA. HUANCAYO, PERU.
- Aragon, Jonathan. (2018). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MAQUINARIA PESADA Y VEHICULOS DE LA EMPRESA NEMA INGENIERIA. BOGOTA, COLOMBIA.
- Buelvas, Camilo; Martinez, Kevin. (2014). ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA LYL. BARRANQUILLA, COLOMBIA.
- Caballero, Hugo. (2016). PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL AREA DE CALDERAS DEL HOSPITAL REGIONAL DE HUANCAVELICA. HUANCAYO, COLOMBIA.
- Caselles, Jaume; Zepeda, Cesar. (2010). PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA CALDERA DE LA EMPRESA WALTER FERRETI. MANAGUA, NICARAGUA.
- Castebianco, Andres; Murcia, Guillermo; Rojas, Eduardo. (2017). PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA TERMOSOLAR Y FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES DE BUENASVISTA,BOYACA. BOGOTA, COLOMBIA.
- Caucali, Sandra. (2015). MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ORIENTADO A UNA ADMINISTRACION ALTAMANET EFECTIVA. BOGOTA, COLOMBIA.

- Garrido, santiago. (2003). *ORGANIZACION GESTION INTEGRAL DE MANTENIMIENTO*. MADRID: EDICIONES DIAZ SANTOS, S.A.
- Gonzales, Jorge. (2016). PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PLANIFICADO PARA LA LINEA DE PRODUCCION EN LA EMPRESA LATERCER S.A.C. CHICLAYO, PERU.
- Jorge, david. (2004). INDICADORES DE CLASE MUNDIAL. 8, 1-10.
- Lopez, Danilo; Reina, Julian. (2018). PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPO TWIN EVOLUTION 22.50 CASO DE ESTUDIO (CORRUGADOR FOSBER DE LA EMPRESA EMPACOR S.A.). BOGOTA, COLOMBIA.
- Lourival Tavares. (2000). *ADMINISTRACION MODERNA DE MANTENIMINETO*. BRASIL: NOVO POLO PUBLICACIONES.
- Medrano, jose; Gonzalez, Victor; Diaz, Vicente. (2017). *MANTENIMIENTO TECNICAS Y APLICACIONES INDUSTRIALES*. MEXICO: PATRIA.
- Monrroy, Juan. (2017). PROPUESTA DE MEJORA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES AX-901B Y AX-901D EN LA PLANTA DE APIAY DE ECOPEPETROL. BOGOTA, COLOMBIA.
- Rincon, Wilson; Sanchez, Hernando. (2012). ANALISIS DE CAUSA RAIZ (RCA) PARA OPTIMIZAR LA CONFIABILIDAD DE LOS ACTIVOS INFORMATICOS DE LA PREVISORA S.A. CAMPAÑA DE SEGUROS. BOGOTA, COLOMBIA.
- Rodriguez, Sebastian. (2013). PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ESCOLAR PARA INSTITUCION EDUCATIVA SIMON RODRIGUEZ. BOGOTA, COLOMBIA.
- Silva, Alejandro; Perez, Oscar. (2013). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA TRACTOCAMIONES DE UNA AGENCIA LOGISTICA DE UNA COMPAÑIA DE LA INDUSTRIA MILITAR. BOGOTA, COLOMBIA.
- Torres, Daniel . (2005). MANTENIMIENTO SU IMPLEMENTACION Y GESTION. ARGENTINA: UNIVERSITAS.

Anexos

Enero de 2007	Turno A		Turno B	
produccion vs desperfectos	Produccion	Desperfectos	Produccion	Desperfectos
ene-01	6560	242	6560	198
ene-02	6313	289	6384	299
ene-03	6358	314	6390	248
ene-04	6335	207	6556	201
ene-05	6420	271	6320	281
ene-06	6506	284	6354	216
ene-07	6433	239	6520	243
ene-08	6344	270	6537	317
ene-09	6304	280	6453	245
ene-10	6540	308	6542	300
ene-11	6503	246	6487	253
ene-12	6523	281	6424	291
ene-13	6538	226	6511	244
ene-14	6444	291	6509	260
ene-15	6505	284	6376	264
ene-16	6388	196	6511	276
ene-17	6501	298	6551	286
ene-18	6463	246	6462	213
ene-19	6385	250	6416	204
ene-20	6362	231	6381	197
ene-21	6320	284	6560	266
ene-22	6377	216	6550	213
ene-23	6555	207	6485	240
ene-24	6555	281	6526	200
ene-25	6539	317	6411	202
ene-26	6316	229	6420	210
ene-27	6485	204	6436	303
ene-28	6435	254	6399	250
ene-29	6514	240	6315	198
ene-30	6379	298	6558	243
ene-31	6467	310	6516	217
Promedio número bolsas	6440,871	261,0645161	6465,16129	244,4516129
promedio % desperfecto	4,0532487	Turno b	3,78105977	

Anexo N. 1 Desperfectos año 2007

Enero de 2018	Turno A		Turno B		Turno C	
produccion vs desper	Produccion	Desperfectos	Produccion	Desperfectos	Produccion	Desperfectos
ene-01	6560	748	6560	727	6560	920
ene-02	6405	670	6438	737	6505	943
ene-03	6531	957	6371	820	6389	955
ene-04	6392	719	6421	943	6301	807
ene-05	6457	656	6357	687	6316	749
ene-06	6370	775	6551	768	6539	874
ene-07	6530	688	6311	861	6459	851
ene-08	6458	676	6539	684	6414	795
ene-09	6360	743	6486	937	6347	724
ene-10	6373	930	6513	830	6431	957
ene-11	6438	718	6339	729	6404	948
ene-12	6325	637	6486	675	6505	916
ene-13	6457	716	6327	666	6472	869
ene-14	6471	893	6364	671	6430	808
ene-15	6552	883	6553	899	6533	654
ene-16	6339	687	6492	803	6522	905
ene-17	6473	804	6532	793	6460	677
ene-18	6547	932	6445	808	6426	959
ene-19	6439	794	6491	964	6515	666
ene-20	6370	729	6540	881	6450	847
ene-21	6317	877	6370	640	6410	729
ene-22	6439	672	6301	870	6555	974
ene-23	6558	801	6529	924	6392	640
ene-24	6557	922	6371	824	6304	824
ene-25	6332	770	6388	902	6364	730
ene-26	6388	711	6452	835	6345	945
ene-27	6386	668	6322	749	6407	734
ene-28	6463	651	6348	948	6363	797
ene-29	6468	715	6509	792	6344	672
ene-30	6549	859	6543	911	6409	937
ene-31	6471	665	6373	638	6323	678
Promedio número de	6444,35484	763,4193548	6439,41935	803,7419355	6425,6129	822,064516
promedio % desperfe	11,8463271	Turno b	12,4815902	Turno b	12,793558	

Anexo N. 2 Desperfectos año 2018