

**OPTIMIZACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS
EQUIPOS DE APOYO DE LA PLANTA WORLDTEX CARIBE MEDIANTE LA
IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION**

CRISTIAN RIVERA CAMARGO
Ingeniero Mecánico



FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS

2010

**OPTIMIZACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS
EQUIPOS DE APOYO DE LA PLANTA WORLDTEX CARIBE MEDIANTE LA
IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION**

CRISTIAN RIVERA CAMARGO
Ingeniero Mecánico

**Trabajo Final Integrador para optar el título de Especialista en
Gerencia de Mantenimiento**

Director Trabajo Final Integrador
MSc, ME MIGUEL ANGEL ROMERO R.



FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS

2010

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

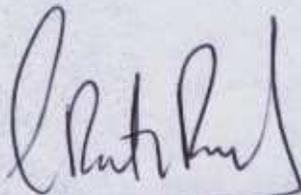
Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de junio de 2010

CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Junio de 2010

Yo, **Cristian Rivera Camargo**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **"OPTIMIZACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE APOYO DE LA PLANTA WORLDTEX CARIBE MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION"** producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



Cristian Rivera Camargo
C.C. 72292017 de Barranquilla

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Junio de 2010

Señores:

Comité Evaluador

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

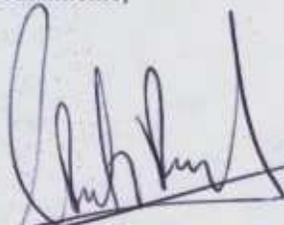
Universidad Tecnológica De Bolívar

Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente someto a su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado **"OPTIMIZACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE APOYO DE LA PLANTA WORLDTEX CARIBE MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION"** realizado por el estudiante **Cristian Rivera Camargo**, para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,

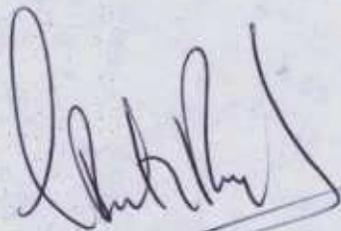


CRISTIAN RIVERA CAMARGO
Ingeniero Mecánico

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Junio de 2010

Yo, **Cristian Rivera Camargo** identificado con la Cédula de Ciudadanía N° 72292017 expedida en la ciudad de Barranquilla, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar para hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el sitio web para su consulta on line con fines educativos.



Cristian Rivera Camargo
C.C. 72292017 de Barranquilla

Cartagena de Indias D. T. y C., 28 de Junio de 2010

Señores:

Comité Evaluador

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Tecnológica De Bolívar

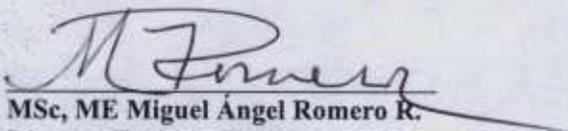
Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado **"OPTIMIZACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE APOYO DE LA PLANTA WORLDTEX CARIBE MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION"** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente


MSc, ME Miguel Ángel Romero R.
Director Trabajo Final Integrador

**A mi hijo Ángel Gabriel con todo
mi amor, a mis padres queridos a
quienes les debo lo que soy.**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	14
1. TÍTULO DEL TRABAJO	15
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
2.1 ANTECEDENTES	15
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.3 JUSTIFICACIÓN	16
3 OBJETIVOS	17
3.1 GENERAL	17
3.2 ESPECÍFICOS	17
4 ALCANCES Y LIMITACIONES	18
5 METODOLOGÍA	19
6 DESARROLLO DEL TRABAJO	20
6.1 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL DE WORLDTEX CARIBE L.S.C.	20
6.1.1 Generalidades	20
6.1.2 Proceso Productivo	21
6.1.3 Recubierto Convencional	21
6.1.4 Recubierto Por Aire	22
6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE APOYO	23
6.2.1 Sistema De Refrigeración	23
6.2.2 Sistema De Aire Comprimido	24
6.2.3 Sistema De Elevación De Carga	25
6.2.4 Sistema De Extracción De Aire	25
6.3 DESGLOSAMIENTO DE LOS EQUIPOS SEGÚN LOS SISTEMAS	25
6.4 FALLAS Y MODOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS	27
6.5 PARÁMETROS DE OPERACIÓN QUE INTERESAN MONITOREAR	30

6.6 TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	32
6.6.1 Análisis De Lubricantes	32
6.6.2 Análisis De Vibraciones	33
6.6.3 Termografía	34
6.6.4 Ultrasonido	35
6.6.5 Inspección De Condiciones Eléctricas	35
6.6.6 Inspección Visual	36
6.7 DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	36
7 RESULTADOS OBTENIDOS	40
8 CONCLUSION	41
9 RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: diagrama proceso recubierto convencional.	21
Figura 2: diagrama proceso recubierto por aire.	22
Figura 3: diagrama red de frío típico por agua helada y condensado por agua	23
Figura 4: diagrama sistema de refrigeración instalado en Wortex Caribe L.S.C.	23
Figura 5: diagrama 3D sistema de refrigeración instalado en Worldtex Caribe L.S.C.	24
Figura 6: diagrama sistema de generación y tratamiento de aire comprimido.	24
Figura 7: ciclo de mantenimiento propuesto.	35
Figura 8: diagrama de la planeación.	36
Figura 9: diagrama de entradas y salidas del sistema de informacion.	37
Figura 10: diagrama de flujo característico para una tarea de mantenimiento.	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: resumen genérico de la conformación de los sistemas.	25
Tabla 2: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de aire comprimido.	26
Tabla 3: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de elevación de carga.	26
Tabla 4: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de refrigeración.	27
Tabla 5: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de extracción de aire.	27
Tabla 6: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de extracción de aire.	28
Tabla 7: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de aire comprimido.	29
Tabla 8: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de elevación de carga.	29
Tabla 9: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de refrigeración.	29
Tabla 10: parámetros de operación para el sistema de extracción de aire.	30
Tabla 11: parámetros de operación para el sistema de aire comprimido.	31
Tabla 12: parámetros de operación para el sistema de elevación de carga.	31
Tabla 13: parámetros de operación para el sistema de refrigeración.	31

LISTA DE SIMBOLOS

PMP: Programa de Mantenimiento Preventivo.

CMD: análisis de la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en la planta.

PDM: sigla en ingles de “Predictive Maintenance”, en español traduce: Mantenimiento Predictivo.

PSIG: sigla en ingles que significa “pounds-force per square inch gauge”, en español traduce: libra por pulgada cuadrada manométrica.

TON/MES: nivel de producción por cantidad de toneladas producidas mensualmente.

DC: corriente directa

RPM: revoluciones por minutos

Hz: hertz, unidad de medida de frecuencia.

O&M: organización y métodos

CFM: sigla en ingles que significa “Cubic feet per minute” en español traduce: pies cúbicos por minuto

GLOSARIO

Motor eléctrico: es una maquina capaz de transformar la energía eléctrica, en energía mecánica para realizar un trabajo.

Chiller: unidad enfriadora de agua

Compresor: maquina cuyo atributo es aumentar la presión del aire para uso industrial, el cual puede ser de tipo tornillo o alternante.

Lavador de aire: equipo cuyo atributo es limpiar el aire interior de un recinto, por medio del recirculamiento del aire interior, haciéndolo pasar a través de los Cell Deck logrando reducir la temperatura y aumentando la humedad.

Cell Deck: son paneles de enfriamiento utilizados para transferir el calor del agua, al aire circundante, o viceversa.

Bombas centrifugas: es una turbomaquina cuyo atributo es succionar agua de un depósito para ser descargada en otro.

Torre de enfriamiento: equipo cuyo atributo es enfriar agua de proceso, mediante transferencia de calor por convección.

INTRODUCCION

La implementación de estrategias innovadoras en los planes de mantenimiento para volver cada vez más eficiente el gerenciamiento de activos dentro de las compañías, es actualmente el eje central de los estudios desarrollados por los profesionales del campo para dar sostenimiento y continuidad al ejercicio de producción de las plantas. De acuerdo a esto, es de gran importancia plantear alternativas de aprovechamiento activo, para contrarrestar la globalización mediante el mejoramiento continuo dándole paso al avance tecnológico con el propósito de ser cada día mas competitivo ante la disminución de desperdicios de recursos materiales, humanos y energéticos.

Tradicionalmente los métodos de mantenimiento en las empresas se han fundamentado en dos tipos, conocidos como “correctivo” y “preventivo”, el primero consiste en intervenir solo cuando ocurre la falla y el segundo consiste en intervenir en periodos de tiempos preestablecidos. En virtud de esto y de la necesidad de encontrar estrategias que involucren un mejoramiento continuo en el gerenciamiento del mantenimiento dentro de la compañía, se plantea este trabajo como propuesta de solución mediante el diseño del programa de mantenimiento basado en la condición para los equipos de apoyo en la empresa Worldtex Caribe L.S.C.

El método de mantenimiento basado en la condición consiste en intervenir a los equipos solo cuando una falla funcional es detectada, ya que los parámetros mecánicos y operacionales de los equipos son monitoreados permanentemente, es así que si se detecta un malfuncionamiento, se identifica la causa y se programa su intervención antes de que ocurra la falla catastrófica.

1. TÍTULO DEL TRABAJO

OPTIMIZACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE APOYO DE LA PLANTA WORLDTEX CARIBE MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICION.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES

La transformación ocurrida en el mundo de los negocios en los últimos años ha hecho evidente la necesidad de una mejora sustancial y sostenida de los resultados operacionales del mantenimiento dentro de las empresas, lo que ha llevado a la búsqueda y aplicación de nuevas y más eficientes técnicas y prácticas de gestión y medición del desempeño de mantenimiento como una oportunidad de mejora para el negocio de la industria.

Los métodos usados para fijar la política de mantenimiento históricamente en el pasado han sido insuficientes, por sí mismos, para asegurar la mejora continua en mantenimiento. Sin embargo la experiencia moderna muestra métodos con resultados positivos al respecto. Por tal motivo, se plantea establecer una estrategia que, además de corregir las citadas desviaciones históricas, asegure que todos los involucrados en el proceso de mantenimiento se impliquen en el proceso de mejora continua del mismo. En tanto que, con el objetivo de no conformarse con devolver los equipos a su estado de óptimo funcionamiento después de una avería, se tratará de disminuir la frecuencia de esa fallas o posibilitar la detección temprana de la misma, de manera que las consecuencias sean tolerables o simplemente se pueda mantener controlada, así pues, el fin último es mejorar la fiabilidad, aumentar la disponibilidad y reducir los costos.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión del mantenimiento es vista en muchas compañías como un servicio o un centro de costo, asignándole poca atención a las oportunidades que hoy en día tiene la inteligencia del negocio, que cubre todas las funciones administrativas y operativas del mantenimiento. Sin embargo, actualmente las organizaciones reconocen que el éxito para el cumplimiento de sus metas es la administración de los recursos, sean estos a la mano de obra y a la materia prima. Así también la información se ha colocado en un lugar preferencial y es uno más de los recursos que acompañan a la organización en su labor cotidiana.

Dicho lo anterior, se postula este proyecto como propuesta de solución para gestionar la información que contribuya a disminuir la frecuencia de las fallas o posibilitar la detección temprana de la misma, de manera que las consecuencias sean tolerables o simplemente se pueda mantener controlada, mediante la consideración de las condiciones mecánicas, térmicas, eléctricas de operación que permitan predecir o detectar fallas incipientes durante la corrida.

2.3. JUSTIFICACIÓN

En un proceso de transformación para adaptarse a las exigencias de un mundo dinámico y cambiante como es la nueva era del mantenimiento y las mejores prácticas de empresas líderes a escala mundial o empresas “Clase Mundial”, esto nos lleva a orientar hacia una visión sistemática del ambiente de negocios, identificando los roles y necesidades de cada uno de los actores, con una orientación en los esquemas de evaluación de resultados y definición de estrategias en el negocio de mantenimiento.

Worldtex Caribe L.S.C. a través de la toma de decisiones en el momento oportuno, con ayuda de las aplicaciones informáticas dentro de la organización, pretende tener un desarrollo significativo y por consiguiente un crecimiento en la participación en el mercado, es así, que mejorar la disponibilidad de los equipos aplicando técnicas modernas de mantenimiento para la detección y predicción de fallas durante la operación, permitiendo monitorear y establecer modelos estadísticos como patrones de desempeño y salud de los equipos, es una de los atributos que se proyecta como rol fundamental dentro de la compañía para la consecución de los objetivos estratégicos.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

- ✓ Optimizar el programa de mantenimiento para los equipos de apoyo de la planta Worldtex Caribe mediante la implementación del mantenimiento basado en la condición.

3.2. ESPECÍFICOS

- ✓ Ilustrar el negocio industrial en que se encuentra Worldtex Caribe L.S.C.
- ✓ Desglosar los equipos de apoyo según el sistema de refrigeración, aire comprimido, elevación de cargas y extracción de aire.
- ✓ Realizar despiece de elementos estándar que componen a los equipos.
- ✓ Proponer las tareas de mantenimiento que serán aplicadas a los componentes críticos de cada uno de los sistemas.
- ✓ Desarrollar método de trabajo para la gestión del mantenimiento teniendo en cuenta las condiciones de operación de los equipos mediante el monitoreo de las variables mecánicas, térmicas, eléctricas de estos, permitiendo predecir o detectar fallas incipientes durante la operación y ejecutar eficazmente la intervención del mantenedor.
- ✓ Elaborar Flujograma de Tareas de Mantenimiento
- ✓ Elaborar Programa PDM
- ✓ Definir el planteamiento final del mantenimiento basado en condición para la planta de producción Wordltex Caribe L.S.C.
- ✓ Realizar un informe escrito de tal forma que se muestre el desarrollo general del proyecto.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

El proyecto tiene como alcances, los siguientes ítems:

- ✓ El programa se fundamenta bajo el concepto de mejoramiento continuo basado en el monitoreo permanente de las condiciones de operación de los equipos.
- ✓ Los equipos pertenecientes a los sistemas de: Refrigeración, Aire comprimido industrial, Elevación de carga y Extracción de aire son considerados como equipos de apoyo en Wordltex Caribe L.S.C.
- ✓ El programa se encuentra centrado sobre los equipos de apoyo disponibles en la planta de Wordltex Caribe L.S.C.

El proyecto tiene como limitaciones, los siguientes ítems:

- ✓ La implementación y ejecución del programa no hace parte del estudio, por lo tanto no se realizarán pruebas de verificación.
- ✓ Otros equipos no considerados como equipos de apoyo, por ejemplo: maquinas enconadoras, encarretadoras y recubridoras, están excluidos del estudio.
- ✓ Evaluación de la criticidad de los equipos e impacto en la producción no hace parte del estudio.
- ✓ El análisis del CMD no esta en el alcance del estudio.
- ✓ La información contenida es propiedad de Wordltex Caribe L.S.C., por tal motivo las copias o reproducciones físicas o magnéticas debe ser autorizadas por la compañía.

5. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto se realizó una investigación detallada de los modelos existentes en gestión de activos teniendo en cuenta el proceso que sigue a lo largo del mejoramiento continuo. Luego se planteó un bosquejo del desempeño en general de la actividad industrial de la planta identificando características preponderantes de la operación. Seguidamente, se identificaron las características de los sistemas considerados como equipos de apoyo según el sistema al cual pertenezca, para así poder familiarizarse con cada una de sus particularidades.

El siguiente paso consistió en acotar los equipos según la criticidad en que se encuentra enmarcado, y de esta manera tomar esto como muestra de estudio. Así mismo, se tomó cada muestra con el fin de verificar la información pertinente para desarrollar la estrategia de mantenimiento, esto es: identificar las características de los equipos y sus componentes correspondientes a la muestra en estudio y en base a esto, conformar la morfología del programa.

Después de haber realizado las consultas correspondientes a los modelos de mantenimiento desarrollados recientemente, se pudo discernir cuales de los factores que intervienen son más importantes que otros, logrando categorizar cada uno de estos de acuerdo a la aplicabilidad al caso particular. Finalmente, se establecieron prioridades al momento de realizar la configuración final del programa en acuerdo al nivel de criticidad de cada elemento dentro del proceso.

Por último se realizó un informe escrito con el fin de consignar brevemente los resultados obtenidos en la investigación, en donde se resumen las etapas aplicadas para el desarrollo del proyecto, así:

- Investigación detallada del estado del arte sobre temas de mantenimiento.
- Bosquejo del desempeño en general de la actividad industrial de Worldtex Caribe L.S.C.
- Recolección de la información inherente al proceso de mantenimiento aplicado en los equipos de apoyo en planta.
- Reconocimiento profundo de los diferentes equipos según los sistemas establecidos como equipos de apoyo, mediante la aplicación de una lista de inspección para determinar e identificar componentes críticos.
- Elaboración del Plan de Trabajo, asignación de tareas, delimitación del ámbito tecnológico del estudio y redefinición del contenido del mismo.
- Estudio y propuesta de las medidas a implementar.
- Plan de Vigilancia de la condición de los equipos de apoyo definidos como críticos.
- Elaboración del documento final.

6. DESARROLLO DEL TRABAJO

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL DE WORLDTEX CARIBE L.S.C.

Compañía del sector Textil perteneciente al grupo Multinacional Americano Worldtex, conformado por Fibrexa Ltda. (Colombia), Regal (Estados Unidos), Rubyco (Canadá), ECA (Honduras), Filix Lastex (Francia) y Filix Lastex (China), Empresas que forman el grupo productor de hilazas recubiertas más grandes del mundo.

Worldtex Caribe tiene por objeto producir hilados elásticos recubiertos a base de fibras de la más alta calidad, los cuales son elaborados con insumos de altos estándares, entre los que se encuentran: filamentos continuos de Spandex y otras fibras sintéticas como el Nylon (poliamida), el poliéster o el polipropileno, fibras naturales como el caucho y algodón, en conjunto con un equipo humano orientado y comprometido con el logro de los objetivos, para satisfacer las necesidades y exigencias de los clientes según las necesidades del mercado. El hilo recubierto tiene diversas aplicaciones en la industria textil, como por ejemplo: Medias Veladas, Calcetines, Tejidos Strech, Cintas elásticas aplicables a la lencería, Vestidos de baño, entre otros.

Las instalaciones o base operativa de la empresa Worldtex Caribe Limited Sucursal Colombiana se encuentran ubicadas dentro de la Zona Franca de la Candelaria, complejo industrial de Mamonal en el kilómetro 12 en la ciudad de Cartagena de Indias D. T. y C, identificado con la nomenclatura, Lote B2 Manzana B Vía Mamonal Km. 12.

6.1.1. Generalidades

El mercado textil está compuesto por una multiplicidad de productos finales, dentro de los cuales se caracterizan las prendas de vestir. Para la elaboración de estas, existe una serie de cadenas de producción, que van desde la materia prima (fibras naturales, artificiales y sintéticas) hasta la manufactura de los productos semiacabados y acabados. En la etapa intermedia de esta cadena se encuentra la fabricación de hilos, con los cuales se confeccionan los tejidos de punto y tejidos planos para finalizar esta etapa. Además, teniendo en cuenta que la elaboración de hilos hace parte de la integración vertical de la cadena de textiles, la producción de la etapa intermedia encuentra una posición importante en el mercado interno.

Los hilos elásticos recubiertos son aquellos constituidos por un núcleo elástico el cual es protegido por una cobertura. El núcleo elástico y la cobertura pueden ser fibras naturales o artificiales. Los hilos elásticos recubiertos son utilizados en cualquier tipo de prenda de vestir o aplicaciones en donde se buscan efectos de ajuste y confort.

Worldtex Caribe inició su construcción en el primer trimestre de 2003 e inició producción el 1 de Diciembre del mismo año. En la primera etapa se contó con aproximadamente 100 maquinas, 305 empleados y una capacidad de 130 Ton/mes. En la actualidad cuenta con

188 máquinas y 259 empleados con la posibilidad de producir 380 Ton/mes, el 80 % de la producción se exporta a países en Europa, Asia, Sudamérica, Centro y Norteamérica.

6.1.2. Proceso Productivo

Worldtex Caribe centra su ejercicio de producción básicamente en dos tipos de procesos. Estos procesos reciben el nombre de recubierto convencional y recubierto por aire, ambos tienen como objetivo recubrir las fibra mediante principios mecánicos, lo cual requiere de un considerable consumo de energía eléctrica para la operación de la maquinaria. En el proceso se utilizan materias primas de primera calidad importadas de Israel, Estados Unidos, Brasil, México, Japón, Taiwán y Tailandia, entre otros, estas materias primas pueden ser fibras tales como:

Fibras Vegetales: Algodón, Bambú, Lino

Fibras Animales: Seda, Lana

Fibras artificiales: Caucho, Viscosa, Acetato

Fibras Sintéticas: Nylon, Poliéster, Elastano

6.1.3. Recubierto Convencional

Consiste en envolver dos o más fibras mediante la utilización de maquinas recubridoras. El producto terminado se encuentra compuesto por una fibra llamada alma y otra llamada cobertura, en donde el alma es una fibra elástica y la cobertura puede ser una o dos fibras no elásticas, en ambos casos se pueden utilizar fibras naturales o artificiales. En la figura 1, se muestran las diferentes etapas desarrolladas en el proceso inherente a recubierto convencional. A continuación se describen brevemente las etapas.

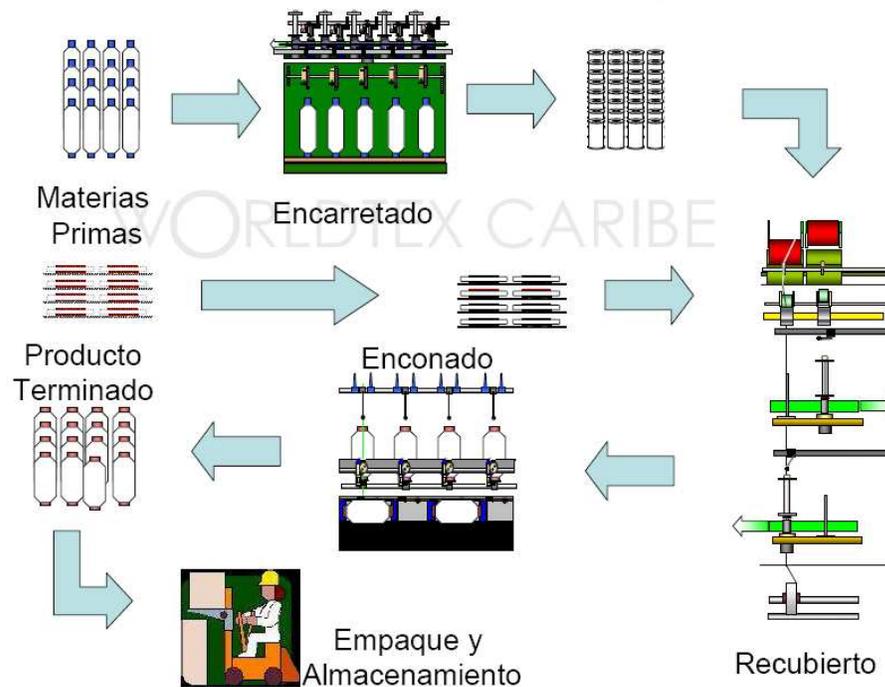


Figura 1: diagrama proceso recubierto convencional.

Materia prima: el almacén general recibe directamente la materia prima proveniente del proveedor, seguidamente la entrega a la planta para su procesamiento. La materia prima se recibe en bobinas con tubos de cartón en una presentación, forma y peso particular según el caso.

Encarretado: consiste en envolver el hilo, contenido en las bobinas de materia prima, en carretes especiales diseñados para trabajar en las máquinas recubridoras. Esto se hace procurando dosificar la cantidad de hilo por cada carrete y garantizando el desenvolvimiento según la producción de recubierto a desarrollar.

Recubrimiento: el proceso inicia desde el momento en que la planta de recubierto convencional recibe de encarretado los carretes de hilo para cobertura y las bobinas de fibra elástica como alma, del almacén general. Seguidamente, se montan los carretes y las bobinas de fibra elástica en la máquina recubridora, en donde se cubre el alma con la cobertura formando un espiral. Finalmente se tiene un paquete o cono como producto terminado, el cual puede ser enviado directamente a empaque como despacho directo o ser enviado a la planta de enconado para darle la presentación final de acuerdo a los requerimientos del cliente.

Enconado: es una etapa intermedia en donde se reciben los paquetes de hilo recubierto con el objetivo de dar características especiales de presentación al producto terminado, de acuerdo a los requerimientos del cliente, para luego ser enviados a empaque.

6.1.4. Recubierto Por Aire

En comparación con el proceso de recubierto convencional, éste es un poco más corto y sencillo, teniendo en cuenta que el proceso inicia desde el momento en que la planta de recubierto por aire recibe del almacén general las bobinas de cobertura y alma. Seguidamente, se monta la materia prima en la máquina tal cual como se recibe del proveedor, en donde se inyecta aire comprimido, a través de una tobera, a la cobertura y el alma con el objetivo de adherir ambas fibras entre sí. Finalmente se tiene un paquete o cono como producto terminado, el cual es enviado directamente a empaque para luego ser despachado al cliente (ver figura 2).

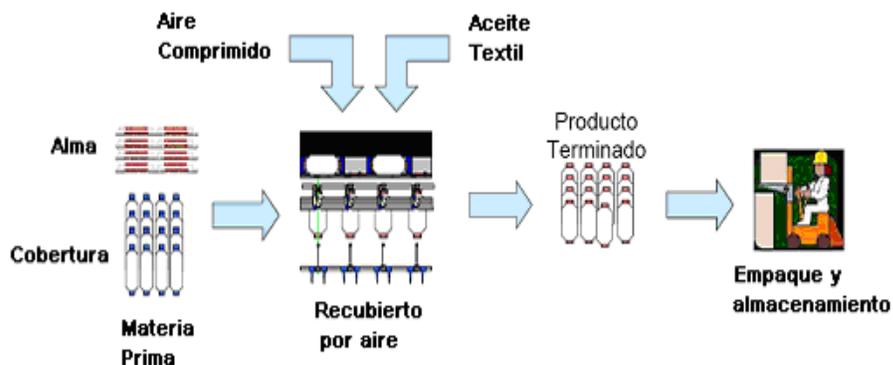


Figura 2: diagrama proceso recubierto por aire.

6.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE APOYO

Los equipos pertenecientes a los sistemas de refrigeración, aire comprimido, elevación de cargas y extracción de aire son considerados como equipos de apoyo en Worldtex Caribe L.S.C., en donde el sistema de enfriamiento atiende a todas las plantas de recubierto convencional y recubierto por aire, el sistema de aire comprimido atiende a la planta de recubierto por aire, el sistema de elevación de carga atiende básicamente al almacén general, y por último el sistema de extracción de aire contempla extractores de aire instalados en toda la planta de recubierto convencional y recubierto aire. Además, estos sistemas están considerados, dentro de la matriz de riesgo y criticidad, con una alta calificación como afectación negativa a la estabilidad de la producción de la planta en caso de que presente una falla, es así que son considerados sistemas de alto impacto.

6.2.1. Sistema De Refrigeración

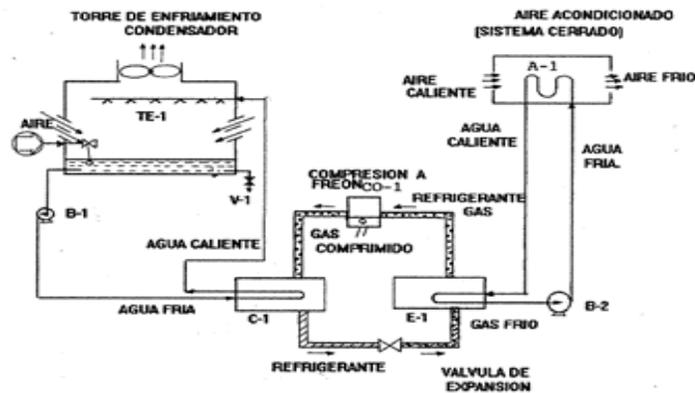


Figura 3: diagrama red de frío típico por agua helada y condensado por agua

Su función es la de extraer el calor generado por las maquinas recubridoras, encarretadoras y enconadora en la planta para mantenerla con una temperatura de funcionamiento constante, ya que si esta se encuentra por fuera de las condiciones de trabajo, se presentarían fallas de operación en la maquinaria, hasta fallas de calidad en el producto.

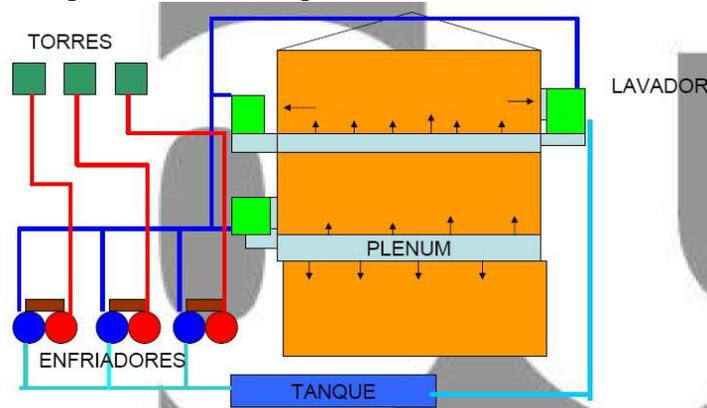


Figura 4: diagrama sistema de refrigeración instalado en Worltx Caribe L.S.C.

El sistema consta de tres enfriadores de agua (Chillers) centrífugos conectados en paralelo entre sí en la descarga del evaporador, un juego de bombas centrífugas conectadas en paralelo como auxiliar y principal que hacen recircular agua a través del condensador hacia las torres de enfriamiento y otro juego para recircular agua del evaporador hacia los lavadores de aire, en cada uno de los enfriadores, así que el fluido refrigerante en el sistema, es agua más producto químico para cambiar ciertas propiedades del agua pura (Ver figura 3, 4 y 5).

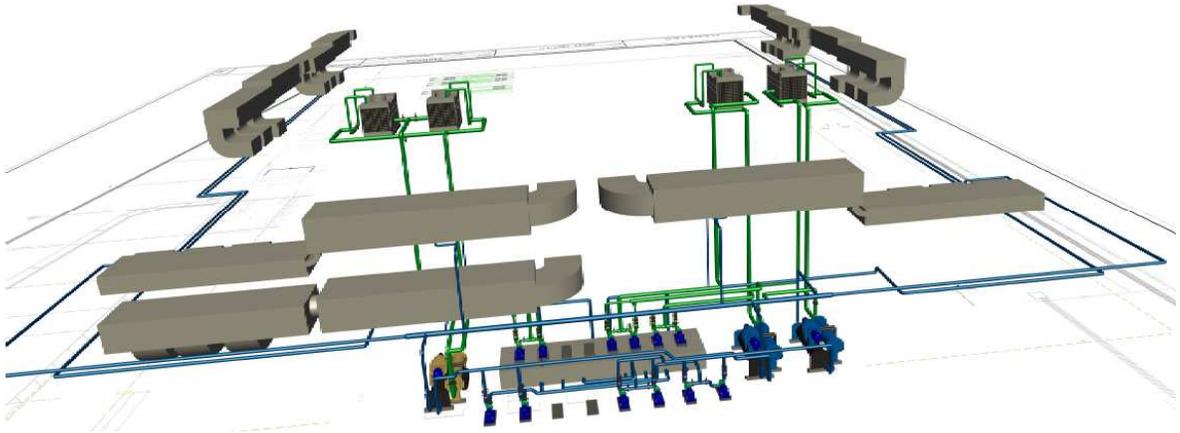


Figura 5: diagrama 3D sistema de refrigeración instalado en Worldtex Caribe L.S.C.

6.2.2. Sistema De Aire Comprimido

Este sistema tiene como función generar y tratar el aire para el consumo de aire comprimido en la planta de recubierto por aire, mediante el uso de dos compresores de tornillos conectados en paralelo como auxiliar y principal, atendiendo un máximo de 2000 cfm a 100 psig.

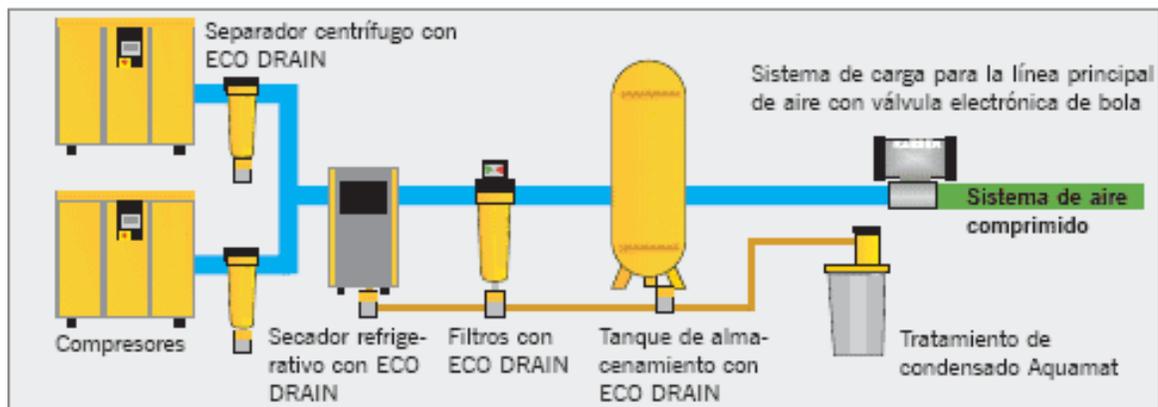


Figura 6: diagrama sistema de generación y tratamiento de aire comprimido.

6.2.3. Sistema De Elevación De Carga

Este sistema tiene como función facilitar el manejo de cargas dentro de la planta, considerando que se requieren ayudas mecánicas para levantar cajas, maquinas, repuestos, etc. mediante el uso de las estibadoras, ascensores, montacargas, etc.

6.2.4. Sistema De Extracción De Aire

Este sistema permite expulsar el exceso de aire generado por la admisión desde la atmósfera hacia la parte interna da la planta, de manera que se pueda mantener la presión estática en condiciones de trabajo, logrando una renovación permanente del aire interno. Igualmente, considerando que en la planta no se tienen ventanas y como consecuencia el aire tiende a viciarse mucho más; para lograr una correcta aireación en aquellos sitios donde el flujo de aire es poco o por presentar material particulado suspendido en el ambiente, se tienen instalados extractores axiales para eliminar este aire viciado, sacándolo fuera del recinto. En resumen, todos los equipos empleados para la renovación, el cambio o la extracción de aire interior de los recintos para evitar la excesiva acumulación de calor, el enrarecimiento, la acumulación de olores indeseados, humo, polvo, vapor y todo elemento perjudicial dentro de la planta, para cumplir con el estándar de 15 a 20 renovaciones de aire por hora para la industria textil.

6.3. DESGLOSAMIENTO DE LOS EQUIPOS SEGÚN LOS SISTEMAS

Considerando que los sistemas están conformados por equipos individuales que a su vez están conformados por componentes, a continuación se relacionan los diferentes equipos genéricos según los sistemas establecidos como equipos de apoyo, como se indica en la tabla 1.

Grupo	Subgrupo	Equipo
Equipos de apoyo	Sistema de enfriamiento	Chiller
		Torre de enfriamiento
		Lavador de aire
		Bomba centrífuga
		Piscina de agua helada
		Tubería agua
	Sistema de aire comprimido	Comp. de aire Reciprocantes
		Comp. de aire Tornillos
		Secador de aire
		Acumulador de aire
		Drenajes y/o purgas
	Sistema de elevación de carga	Montacargas Eléctrica
		Montacargas Gas
		Ascensores
		Estibadoras
		Elevador de cajas
	Sistema de extracción de aire	Extractor de aire axial
		Ductos

Tabla 1: resumen genérico de la conformación de los sistemas.

De lo anterior se procede a descomponer cada uno de los equipos en sus componentes de mayor importancia para un mantenimiento básico de acuerdo al sistema que pertenezca, como se indica en las tablas 2, 3, 4 y 5.

SUBGRUPO	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO				
EQUIPO	Comp. de aire Reciprocantes	Comp. de aire Tornillos	Secador de aire	Tratamiento de aire	Acumulador de aire
COMPONENTES	Tablero de control	Tablero de control	Tablero de control	Purgas automáticas	Válvula de seguridad
	Tablero de potencia	Tablero de potencia	Tablero de potencia	Separador de aceite	Escotillas
	Sistema de lubricación	Sistema de lubricación	Evaporador	Filtros Coalescentes	
	Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento	Condensador	Tubería de suministro a planta	
	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Compresor		
	Compresor	Compresor			

Tabla 2: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de aire comprimido.

SUBGRUPO	SISTEMA DE ELEVACIÓN DE CARGA				
EQUIPO	Montacargas Eléctrica	Montacargas a Gas	Ascensores	Estibadoras	Elevador de cajas
COMPONENTES	Sistema eléctrico	Sistema eléctrico	Sistema eléctrico	Sistema hidráulico	Sistema eléctrico
	Sistema hidráulico	Sistema hidráulico	Sistema hidráulico	Sistema de transmisión mec.	Sistema de mangueras
	Sistema de transmisión	Sistema de transmisión	Sistema de mangueras		Motor eléctrico
		Motor de combustión	Motor eléctrico		

Tabla 3: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de elevación de carga.

SUBGRUPO	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				
EQUIPO	Chiller	Torres de enfriamiento	Lavador de aire	Bomba centrífuga	Tubería agua
COMPONENTES	Tablero de control	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Sist. Cerrado
	Tablero de potencia	Ventilador	Tablero de potencia	Bomba centrífuga	Sist. Abierto
	Motor eléctrico	Caja de transmisión	Ventilador	Tablero de potencia	
	Compresor	Rellenos de flujo cruzado	Sistema de transmisión mec.	Sistema de transmisión mec.	
	Transmisión actuador	Estructura y latonería	Rellenos de flujo cruzado	Base	
	Evaporador		Estructura y latonería		
	Condensador				
	Sistema de lubricación				
	Tubería, mangueras y racores				

Tabla 4: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de refrigeración.

SUBGRUPO	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE
EQUIPO	Extractor de aire axial
COMPONENTES	Motor eléctrico
	Aspa
	Transmisión de potencia MEC
	Sistema eléctrico
	Ductos

Tabla 5: resumen genérico de los componentes que integran los equipos del sistema de extracción de aire.

6.4. FALLAS Y MODOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS

Una falla se define como un suceso que ocasiona que el sistema deje de funcionar de la forma correcta para la cual fue diseñado, las cuales pueden considerarse de tres clases: fallas mecánicas, térmicas y eléctricas. Las fallas mecánicas se relacionan directamente con el comportamiento de elementos mecánicos que conforman el sistema, las fallas térmicas se relacionan básicamente con el comportamiento de la transferencia de calor en los equipos que hacen parte del sistema de refrigeración y/o los que tengan uno disponible para su

operación. Además, las fallas eléctricas están relacionadas con los dispositivos Electricos y electrónicos que son requeridos para que los equipos de apoyo realicen su función. Es así, que en este ítem indica los modos de falla más comunes en los equipos de apoyo disponibles en la planta de Worldtex Caribe L.S.C.

Por otra parte, un síntoma es una cantidad medible covariable con la condición de estado del sistema. Dicho de otro forma, el síntoma es una señal o comportamiento del sistema que permite saber que este tiene problemas. La causa raíz es el origen de la falla o del problema que se esta presentando. Es decir, la causa raíz es la razón por la cual el sistema esta fallando o esta funcionando de manera incorrecta. Los síntomas de algunas fallas que aparecen comúnmente en los equipos de apoyo se indican en las tablas 6, 7, 8 y 9. Dichas tablas son guías que permiten identificar el síntoma y determinar la razón mas probable por la cual se esta presentando la falla, varios síntomas distintos puede tener la misma causa raíz, es decir una misma causa raíz puede ocasionar diferentes tipos de fallas, y estas se pueden manifestar por medio de diferentes tipos de síntomas.

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE	
Extractor de aire axial	
No arranca el motor	
No alcanza las condiciones de trabajo	
Vibración anormal	
Ruido anormal	
Flujo irregular	

Tabla 6: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de extracción de aire.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO				
Comp. de aire Reciprocantes	Comp. de aire Tornillos	Secador de aire	Tratamiento de aire	Acumulador de aire
No arranca el motor	No arranca el motor	No arrancan los compresores	No alcanza las condiciones de trabajo	No alcanza las condiciones de trabajo
No alcanza la presión de trabajo	No alcanza la presión de trabajo	No alcanza las condiciones de trabajo		
Flujo irregular	Flujo irregular	Vibración anormal		
Vibración anormal	Vibración anormal	Ruido anormal		
Ruido anormal	Ruido anormal			

Tabla 7: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de aire comprimido.

SISTEMA DE ELEVACIÓN DE CARGA				
Montacargas Eléctrica	Montacargas a Gas	Ascensores	Estibadoras	Elevador de cajas
No arranca	El motor no enciende	No sube	No sube	No succiona
No eleva la carga	No eleva la carga	No baja	No baja	No eleva la carga
No se mueve	No se mueve	No se nivela al llegar al piso	No se mueve	
No frena	No frena	No se sostiene	No se sostiene	
Ruido anormal	Ruido anormal	Ruido anormal	Ruido anormal	
Vibración anormal	Vibración anormal	Vibración anormal	Vibración anormal	

Tabla 8: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de elevación de carga.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				
Chiller	Torres de enfriamiento	Lavador de aire	Bomba centrífuga	Tubería agua
No arranca el motor	No arranca el motor	No arranca el motor	No arranca el motor	Flujo irregular
No alcanza las condiciones de trabajo (Temperatura y presión)	No alcanza las condiciones de trabajo (Temperatura y humedad)	No alcanza las condiciones de trabajo (Temperatura y humedad)	No alcanza las condiciones de trabajo (Presión y caudal)	Vibración anormal
Vibración anormal	Vibración anormal	Vibración anormal	Vibración anormal	
Ruido anormal	Ruido anormal	Ruido anormal	Ruido anormal	
			Flujo irregular	

Tabla 9: resumen de fallas correspondiente a los equipos del sistema de refrigeración.

Las causas de fallas más frecuente que se presentan en los equipos pueden pertenecer en general a categorías consideradas, como sigue:

- Mal diseño o selección
- Materiales defectuosos
- Deficiencia en fabricación
- Defectos en el ensamble

- Operación fuera de las condiciones de servicio recomendadas
- Operación inadecuada
- Mantenimiento inadecuado

El primer paso que debe seguirse en el análisis de fallas para un equipo de apoyo es categorizar la falla o el problema que se está presentando. Este paso es sencillo, pues solo existen tres categorías: fallas mecánicas, térmicas y eléctricas. Luego se establece cual es el síntoma que se está presentando en el sistema. Pues, el síntoma es el suceso o el fenómeno físico que indica que en el sistema algo está mal. El tercer paso consiste en determinar cual es el mecanismo de falla. Dicho mecanismo de falla es un proceso físico que conduce a la falla. Este puede ser, fuerza, temperatura, tiempo, reacciones del medio ambiente, etc.

El análisis de falla termina con la identificación de la causa raíz de la falla o del problema que se está presentando en el sistema. Como se indicó antes, la causa es el origen de la falla. Una vez encontrada la causa raíz del problema, se debe proceder a corregirla totalmente para que la falla o problema no vuelva a presentarse. En el siguiente ítem, se indicará como interpretar las fallas incipientes en los equipos, de manera que las acciones correctivas sean tomadas antes de que se presente la falla.

6.5. PARÁMETROS DE OPERACIÓN QUE INTERESAN MONITOREAR

De acuerdo al resumen de fallas indicado en el ítem anterior, se designan a continuación las variables de estudio que permitirían detectar fallas incipientes, en caso de que existan, por medio de un monitoreo permanente a los equipos. Por consiguiente, mediante la aplicación de una lista de inspección de evaluación cualitativa y cuantitativa, se determinan e identifican fallas incipientes de acuerdo a la valoración de la criticidad de cada uno de los equipos. Seguidamente, una síntesis de la información para seleccionar los equipos principales con mayor impacto en la estabilidad del proceso industrial.

El proceso inicia generando una lista de fallas conocidas para cada uno de los equipos en el sistema al cual pertenezca, como se indicó en el ítem 6.4. Luego, se determina que política de mantenimiento aplica para el componente, es decir, si lo deja correr a falla, si interesa predecir la falla, etc. Seguidamente identifica condiciones de estado que pudiesen alertar al mantenedor sobre una falla incipiente durante la operación. Concluyendo, con la acción correctiva que haya lugar para evitar que la falla tenga efectos catastróficos. Por tanto, es importante tener presente los parámetros que se ilustran a continuación de manera que se pueda establecer objetivamente el estado en que se encuentran los equipos operando.

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE
Extractor de aire axial
Velocidad del aire, RPM
Temperatura, Amperaje, voltaje y aislamiento motor
Nivel de ruido, vibración, lubricación

Tabla 10: parámetros de operación para el sistema de extracción de aire.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO				
Comp. de aire Reciprocantes	Comp. de aire Tornillos	Secador de aire	Tratamiento de aire	Acumulador de aire
Temperatura, presión, Flujo de aire, RPM	Temperatura, presión, Flujo de aire, RPM	Temperatura, presión, Flujo de aire	Temperatura, presión, Flujo de aire	Temperatura, presión, Flujo de aire
Amperaje, voltaje y aislamiento motor	Amperaje, voltaje y aislamiento	Amperaje, voltaje y aislamiento	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación
Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación		

Tabla 11: parámetros de operación para el sistema de aire comprimido.

SISTEMA DE ELEVACIÓN DE CARGA				
Montacargas Eléctrica	Montacargas a Gas	Ascensores	Estibadoras	Elevador de cajas
Temperatura, presión de aceite, movilidad.	Temperatura, presión de aceite, levante.	Temperatura, nivel, presión de aceite.	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Temperatura, presión de succión, movilidad.
Amperaje, voltaje y aislamiento motor	Nivel de líquidos	Amperaje, voltaje y aislamiento motor		Amperaje, voltaje y aislamiento motor
Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación		Nivel de ruido, vibración, lubricación

Tabla 12: parámetros de operación para el sistema de elevación de carga.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				
Chiller	Torres de enfriamiento	Lavador de aire	Bomba centrífuga	Tubería agua
Temperatura y presión del aceite, temperatura y presión del refrigerante, caudal y presión del agua	Temperatura y flujo de agua, RPM.	Temperatura, humedad y velocidad del aire, RPM.	Temperatura, presión de trabajo, caudal de agua, RPM	Nivel de ruido, vibración, lubricación
Amperaje, voltaje y aislamiento motor	Amperaje, voltaje y aislamiento motor	Amperaje, voltaje y aislamiento motor	Amperaje, voltaje y aislamiento motor	Caudal y presión del fluido.
Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Nivel de ruido, vibración, lubricación	Espesor de pared

Tabla 13: parámetros de operación para el sistema de refrigeración.

6.6. TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, se define el nuevo tipo de prevención de fallas. La mayoría de estas técnicas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallas potenciales o incipientes, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Estas técnicas se usan para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que se pueda intervenir antes de que se conviertan en verdaderas fallas funcionales. Estas técnicas se conocen como tareas a condición, porque los elementos se dejan funcionando bajo condiciones estándar para continuar cumpliendo con el funcionamiento deseado. Así que, muchas fallas son detectables antes de que ellas alcancen un punto donde la falla funcional se presente. De este modo, consiste en determinar el estado de la maquina, sin obstaculizar su ritmo productivo, a través de la medición de algún síntoma, como vibraciones, análisis de aceite, temperatura, etc. y predecir su estado en base a su comportamiento en el tiempo.

A continuación se relacionan las técnicas propuestas, donde las acciones correctivas derivadas de los resultados obtenidos por las mediciones, deben evaluarse de acuerdo a la importancia del equipo, límites de deterioro del equipo, impacto del deterioro del equipo, análisis de la tendencia, predice la futura falla y el tiempo en que se puede dar.

6.6.1. Análisis De Lubricantes

Este análisis consiste en evaluar las condiciones de los lubricantes e identificar factores que afectan negativamente los equipos. De este modo, mediante la implementación de la técnica, se logrará disminuir drásticamente: tiempo perdido en producción en razón de desperfectos mecánicos, desgaste de las máquinas y sus componentes, horas hombre dedicadas al mantenimiento, consumo general de lubricantes. En tanto, que la técnica debe ejecutarse dependiendo de la necesidad que se tenga, así:

- **Análisis Iniciales:** se realizan a aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del lubricante, motivadas a cambios en condiciones de operación.
- **Análisis Rutinarios:** aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.
- **Análisis de Emergencia:** se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o lubricante, según: contaminación con agua, sólidos (filtros y sellos defectuosos), uso de un producto inadecuado.

La información de estudio para la cual se requiere analizar las condiciones de los lubricantes, relaciona gráficos e historiales para la evaluación de las tendencias a lo largo del tiempo de los factores que afectan a nuestra máquina, como por ejemplo:

- Elementos de desgaste: Hierro, Cromo, Molibdeno, Aluminio, Cobre, Estaño, Plomo.
- Conteo de partículas: Determinación de la limpieza, ferrografía.
- Contaminantes: Silicio, Sodio, Agua, Combustible, Hollín, Oxidación, Nitración, Sulfatos, Nitratos.
- Aditivos y condiciones del lubricante: Magnesio, Calcio, Zinc, Fósforo, Boro, Azufre, Viscosidad.

Esta técnica procura máxima reducción de los costos operativos, máxima vida útil de los componentes con mínimo desgaste, máximo aprovechamiento del lubricante utilizado, mínima generación de efluentes.

6.6.2. Análisis De Vibraciones

El análisis de vibraciones mecánicas se aplica con el propósito de evitar las consecuencias de estas, como por ejemplo: el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc.

Parámetros de las vibraciones.

- Frecuencia: es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de Vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hercios).
- Desplazamiento: Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.
- Velocidad y Aceleración: Como valor relacional de los anteriores.
- Dirección: Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales

Tipos de vibraciones.

- Vibración libre: causada por una excitación instantánea.
- Vibración forzada: causada por una excitación constante

Causas de las vibraciones mecánicas

- Vibración debida al Desequilibrado (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falta de Alineamiento (maquinaria rotativa)
- Vibración debida a la Excentricidad (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falla de Rodamientos y cojinetes.
- Vibración debida a problemas de engranajes y correas de Transmisión (holguras, falta de lubricación, roces, etc.)

6.6.3. Termografía

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras para termografías, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura. La Física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno de la planta, ya sea de tipo mecánico o eléctrico, están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante el seguimiento a la temperatura de los componentes a través del sistema de termo-visión por Infrarrojos. La implementación del programa de inspección termográfica en las instalaciones, maquinaria, tableros eléctricos, etc. permitirá minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también se toma como una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

El análisis mediante termografía infrarroja se complementa con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como son el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, ultrasonido y el análisis de condiciones eléctricas en motores eléctricos. En tanto que se define aplicar esta técnica para los siguientes casos:

- Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones de Frío industrial y climatización.

El propósito de realizar estudios para conocer la condición de los equipos, como por ejemplo:

- Estado de conexiones, bornes y aisladores.
- Estado de bobinados de motores/generadores.
- Estudio de escobillas en motores/generadores DC.
- Estado de Fusibles, seccionadores e interruptores.
- Desequilibrio de fases.
- Armónicos.
- Inducciones magnéticas.
- Estudio de motores y generadores.
- Estudio de rodamientos y poleas.
- Estudio de cojinetes
- Sistemas de transmisión y cajas de cambios.
- Malos alineamientos.

- Estado de los lubricantes.
- Soldaduras.

6.6.4. Ultrasonido

El Ultrasonido permite detectar fricción en maquinas rotativas, detectar fallas y/o fugas en válvulas, detectar de fugas de fluidos, pérdidas de vacío, detección de "arco eléctrico" y verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.

Este método estudia las ondas de sonido de baja frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano. La aplicación del análisis por ultrasonido se hace indispensable especialmente en la detección de fallas existentes en equipos rotantes que giran a velocidades inferiores a las 300 RPM, donde la técnica de medición de vibraciones se transforma en un procedimiento ineficiente. De modo que la medición de ultrasonido es en ocasiones complementaria con la medición de vibraciones, que se utiliza eficientemente sobre equipos rotantes que giran a velocidades superiores a las 300 RPM. Al igual que en el resto del mundo industrializado, la actividad industrial en nuestro País tiene la imperiosa necesidad de lograr el perfil competitivo que le permita insertarse en la economía globalizada. En consecuencia, toda tecnología orientada al ahorro de energía y/o mano de obra es de especial interés para cualquier Empresa.

Se denomina Ultrasonido Pasivo a la tecnología que permite captar el ultrasonido producido por diversas fuentes, por ejemplo: mecanismos rotantes, fugas de fluido, pérdidas de vacío, y arcos eléctricos. El sonido cuya frecuencia está por encima del rango de captación del oído humano (20-a-20.000 Hertz) se considera ultrasonido. Casi todas las fricciones mecánicas, arcos eléctricos y fugas de presión o vacío producen ultrasonido en un rango aproximado a los 40 Khz Frecuencia con características muy aprovechables en el Mantenimiento Predictivo, puesto que las ondas sonoras son de corta longitud atenuándose rápidamente sin producir rebotes. Por esta razón, el ruido ambiental por más intenso que sea, no interfiere en la detección del ultrasonido. Además, la alta direccionalidad del ultrasonido en 40 Khz. permite con rapidez y precisión la ubicación de la falla.

6.6.5. Inspección De Condiciones Eléctricas

Este método estudia el comportamiento de las condiciones eléctricas de operación en maquinas eléctricas, por ejemplo: la corriente de los motores eléctricos puede monitorearse utilizando muchos métodos muy conocidos. Entre estos métodos están los siguientes: graficación de la variación continua de la corriente con el tiempo y graficación de picos de corriente. Igualmente el estado interno del embobinado de motores puede identificarse mediante la medición del aislamiento en cada uno de ellos.

6.6.6. Inspección Visual

Los sentidos humanos tocar, ver, oler y oír son actividades generalmente básicas para los seres humanos, es así que hacen parte de los métodos mas usados para monitorear condiciones de operación. Posiblemente esto ocurre porque estos sentidos siempre están presentes en nuestras acciones. Es muy frecuente, que una apreciación subjetiva, usando nuestros sentidos, inicie un análisis objetivo y exhaustivo de un problema. El decir “No se ve muy bien” es, entonces, muy importante. Esta ventaja del cuerpo humano se refleja en la gran variedad de parámetros que puede detectar: ruido, vibración, temperatura, luz y olores.

Existe una amplia gama de técnicas que amplían la potencia del ojo humano. Se puede obtener amplificación extra con el uso de lupas o de otros instrumentos ópticos. A veces el objeto que se quiere inspeccionar no se encuentra accesible, por lo que se requiere equipo especializado para alcanzarlo. Otras veces, el objeto no está quieto o se encuentra viajando a baja velocidad, por lo que es necesario utilizar técnicas para simular que está detenido.

6.7. DISEÑO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

El planteamiento fundamental del programa define: Planear, Programar, ejecutar, controlar y Evaluar. Estas son actividades centrales que para responder a los requerimientos básicos de la organización, deben ser asumidas en forma unipersonal por el personal del área, sobre un grupo específico de equipos para el sistema asignado.

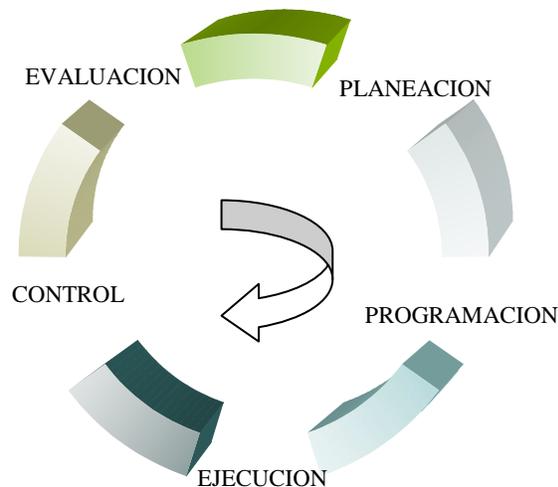


Figura 7: ciclo de mantenimiento propuesto.

Planeación: en esta etapa es fundamental conocer el estado de los activos productivos y los programas de operación. La respuesta del como? están los equipos es la base para decidir que? debe hacerse con ellos. Con el análisis integral de las diferentes tecnologías de diagnóstico, estadísticas operativas, historial de mantenimiento, planes de producción y el

resultado de la evaluación final del proceso, se generan los planes de mantenimiento y reposición.

Programación: con la información recibida de la planeación se realiza la programación detallada, involucrando los recursos como: mano de obra, repuestos, materiales y logística. La programación entrega un plan de desconexiones especificando los equipos a intervenir, la fecha y su duración. Estas se optimizan de acuerdo con los requerimientos del sistema logrando minimizar las restricciones.

Ejecución: Una vez realizada la programación, se llevan a cabo las diferentes actividades de mantenimiento.

Control: para verificar que las actividades de mantenimiento se realicen según lo programado, se tiene el Departamento O&M, para el control de los Mantenimiento, que realiza el seguimiento de estas actividades, sirviendo de enlace entre la operación y los grupos mantenedores y así mismo efectuando el análisis operativo.

Evaluación: este proceso determina la efectividad del mantenimiento, correlacionando la misión propuesta y los logros obtenidos, para realimentar la planeación y conseguir la integralidad de la gestión

Este enfoque es natural entre otras cosas porque permite establecer un adecuado balance. Cualquier corte en el alcance de estas funciones terminará por alterar el proceso de solución de los problemas esporádicos y el no aprovechamiento de un sistema realimentado. En consecuencia, el Control Predictivo del Mantenimiento tiene como objetivo, ejecutar el mantenimiento preventivo en equipos en el momento exacto, en que estos interfieren en la confiabilidad del sistema, dando lugar a la definición del plan maestro, semanal, diario y hasta la orden de trabajo ejecutada por el técnico (Ver figura 8)

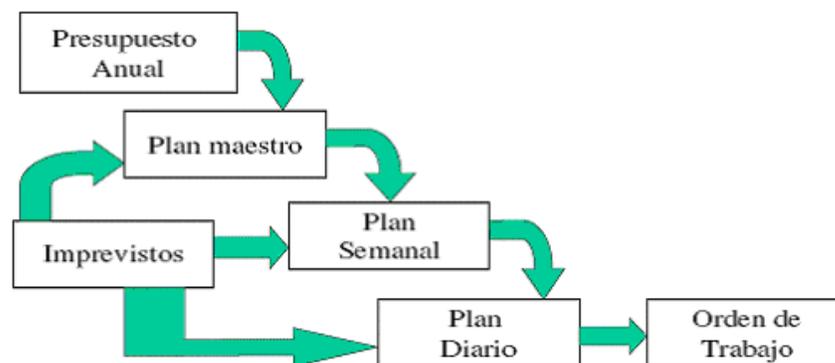


Figura 8: diagrama de la planeación.

El análisis de la información se define bajo dos formas, en función de las características de los equipos: Análisis Estadístico y Análisis de Síntomas.

El análisis estadístico, es aplicado para los de equipos o componentes con una cantidad apreciable, con las mismas características, que puedan ser considerados como un "universo", para el desarrollo de los cálculos de probabilidades y que tienen características aleatorias de fallo, es decir, a los cuales no es posible hacer acompañamiento de sus variables. Este análisis se basa en la identificación del término de vida útil, objeto del estudio en la curva de tasa de fallas con relación al tiempo, entendiéndose por tasa de fallas "la relación entre un incremento del número de fallas y el incremento correspondiente de tiempo, en cualquier instante de la vida de un equipo" y por vida útil "el periodo de tiempo, durante el cual el equipo desempeña su función con una tasa de fallas aceptable".

El análisis de síntomas, es aplicado en equipos con características singulares, con relación a los demás equipos instalados y en los cuales es posible hacer mediciones de sus variables. Además, cuando es necesario el desarrollo de estudios para la determinación de la condición en los equipos en la práctica del mantenimiento predictivo basado en síntomas, se puede caracterizar 4 etapas: Inspeccionar, Evaluar, Programar y Normalizar. En la inspección son comunes la aplicación de los procesos de Termografía, Tribología (análisis de aceite), Estroboscopia, Análisis de vibración, Rayos X, Alineamiento, Balanceo, Ultrasonido y Mediciones eléctricas. Los datos de la medición son registrados y para generar los informes con las gráficas de tendencias y las indicaciones del momento más adecuado para intervención en el equipo.

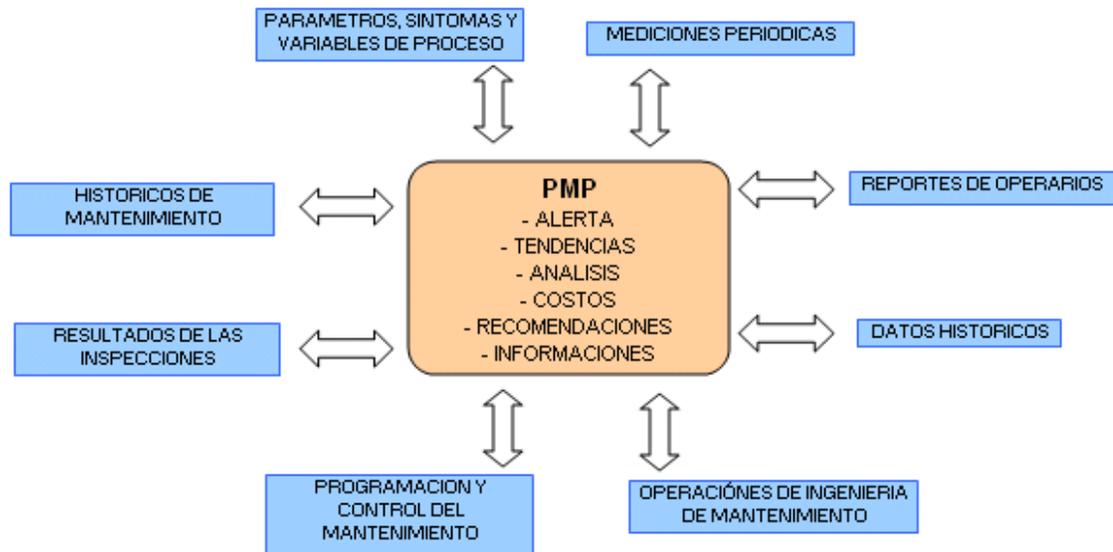


Figura 9: diagrama de entradas y salidas del sistema de informacion.

Es importante tener claro que el punto neurálgico del Programa de Mantenimiento Predictivo radica en estas técnicas, porque indudablemente el análisis de vibraciones, el Análisis de lubricantes, el diagnóstico por temperatura y el análisis de corriente y parámetros eléctricos constituyen excelentes herramientas para un Programa de Mantenimiento Predictivo, pero por sí solas no conforman éste, puesto que para hablar de

Predictivo es preciso efectuar mediciones periódicas a través de las cuales se vaya construyendo la propia historia de la máquina y se logre ejecutar la detección del problema, previa definición de las Alertas y las alarmas para el o los parámetros síntomas en cuestión (ver figura 9).

Una vez detectada la presencia de un problema se tendrá que proceder a la identificación del defecto y su causa, es aquí donde se exige la disponibilidad de instrumentos con mayor capacidad de medición y procesamiento, incluyendo la intervención de personal especializado. Sin embargo, no basta con detectar e identificar problemas, defectos y causas, así que el Programa de Mantenimiento Predictivo se sustenta en la planificación de las intervenciones en virtud de la evolución del comportamiento mecánico de los equipos, entonces se emplean técnicas para el pronóstico de falla, dando paso a la fase de planificación de la intervención cuyo objetivo central es la corrección del defecto y la eliminación de su causa. Seguidamente, se vincula otro eslabón importante y es justamente el control de calidad a las correcciones efectuadas, permitiendo dar continuidad a la historia de la propia máquina y reajustar, de ser preciso, la periodicidad en las mediciones de los parámetros síntomas.

El Plan para el aseguramiento integral del programa de mantenimiento basado en la condición se define bajo la acción colectiva de los recursos involucrados dentro del proceso de mantenimiento dentro de la compañía, debe interpretar ciertamente la lógica del sistema, reconociendo el esquema de monitorear las variables, evaluar los datos y determinar la incidencia sobre la gestión de las políticas establecidas. Por tanto, la vigilancia es a la vez derecho y responsabilidad de todos los participantes, asumiendo el logro de las metas de equidad y calidad de las tareas ejecutadas, considerando que solo es posible el éxito si y solo si se desarrollan capacidades y mecanismos sociales que fundamente la cultura.

7. RESULTADOS OBTENIDOS

Después de realizar diferentes consultas de la literatura especializada y además, comparar la experiencia vivida en planta, como caso particular, se tiene la optimización del programa de mantenimiento para los equipos de apoyo de la planta Worldtex Caribe mediante la implementación del mantenimiento basado en la condición, capaz de integrar las políticas existente tradicionalmente, como son el correctivo y el preventivo, con modernas técnicas de predicción de fallas como complemento.

Además, como atributo tecnológico proporciona la ventaja de identificar el momento adecuado para intervenir los equipos bajo el esquema de mantenimiento preventivo antes de que ocurra la falla imprevista, tal cual se muestra en la figura 10.

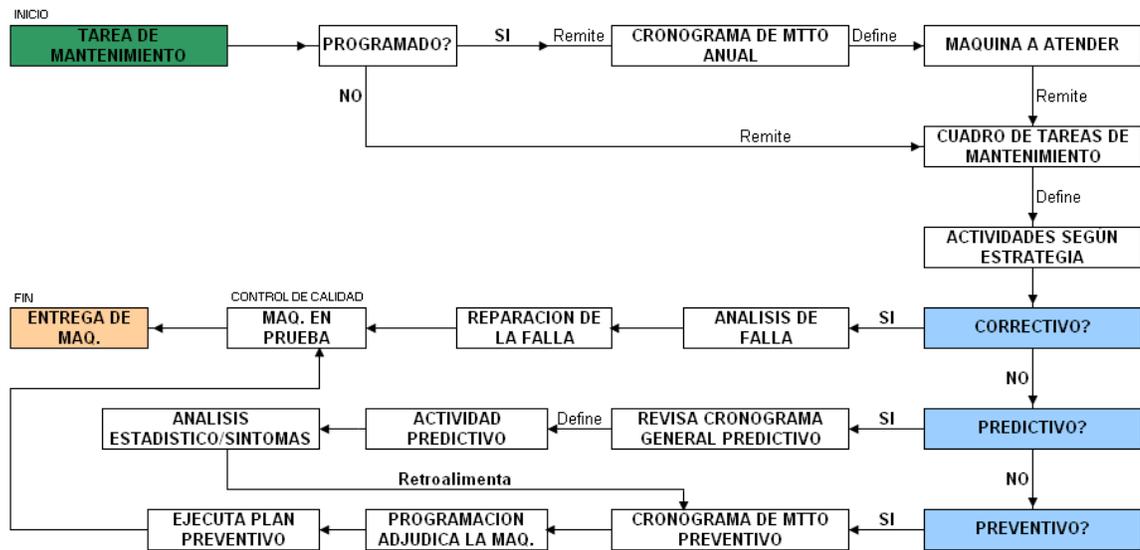


Figura 10: diagrama de flujo característico para una tarea de mantenimiento.

De igual forma, el programa de mantenimiento predictivo, procesa: parámetros, síntomas, variables de proceso, mediciones periódicas, reportes de operarios, datos históricos, operaciones de ingeniería de mantenimiento, resultados de las inspecciones, históricos de mantenimiento, programación y control del mantenimiento. En tanto que el resultado de este proceso proporciona alertas, tendencias, análisis, costos, recomendaciones, entre otros datos de interés.

8. CONCLUSION

Es importante considerar que la productividad de una industria aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sostenible en el tiempo. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas como también con conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento de las máquinas.

Indudablemente el Programa de Mantenimiento Predictivo contribuye a superar el reto que presupone mantener una alta disponibilidad en planta, pero antes es necesario haber logrado un cambio en la cultura de mantenimiento, teniendo presente, que la tecnología por sí sola, no puede superar los obstáculos actuales y los retos futuros. Es la propia función de mantenimiento la que debe cambiar.

En el presente trabajo se postularon varias de las técnicas de análisis utilizadas hoy en día, entre las que se destaca el análisis de vibraciones mecánicas, ilustrando con gráficos su alcance así como la necesidad de usar diferentes indicadores con el fin de llegar a un diagnóstico acertado. Diagnosticado y solucionado los problemas, la vida de las máquinas y la producción aumentará y por tanto, los costos de mantenimiento disminuirán.

Finalmente, el programa de Mantenimiento Predictivo es sólo una estrategia más para organizar la actividad del mantenimiento, pero no es la única ni es la mejor, simplemente busca identificar una apropiada política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen un proceso usado para decidir lo que debe hacerse y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

9. RECOMENDACIONES

Para el adecuado manejo de la información consignada en este trabajo, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Para que este programa sea efectivo, es necesario poder determinar en cualquier instante la condición mecánica real de las máquinas bajo estudio, lo cuál se logra analizando las diferentes señales que ellas emiten al exterior.
- Es de vital importancia implementar una prueba piloto para un grupo de equipos en un sistema específico, con el fin de modelar el comportamiento del programa, contrastando la información manejada en este trabajo.
- Es importante considerar que el planteamiento fundamental del programa, debe ser interiorizado concientemente por el personal involucrado, para responder a los requerimientos básicos de la organización.
- La informacion obtenida mediante la aplicación de las técnicas de predictivo deben ser interpretada y analizadas construyendo la propia historia de la máquina logrando la detección del problema.

BIBLIOGRAFÍA

- AN INTRODUCTION TO PREDICTIVE MAINTENANCE. Second Edition, Butterworth-Heinemann 2002, R. Keith Mobley
- PRACTICAL MACHINERY VIBRATION ANALYSIS AND PREDICTIVE MAINTENANCE, Paresh Girdhar BEng (Mech. Eng), Girdhar and Associates. Edited by C. Scheffer PhD, MEng, SAIMEchE, Series editor: Steve Mackay. 2004.
- AVALLONE, Eugene A. y BAUMEISTER III, Theodore. MARKS MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO. Novena edición, Mc Graw Hill, tomo 1 y 2.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. NTC 1486.