

**DISEÑO DE UN PROGRAMA (TPM) PARA EL MEJORAMIENTO DE UN
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL CENTRO DE
FORMACION INTEGRAL PROVIDENCIA AREA CONFECCIONES.**

BETSY YISELI DELGADO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA
FACULTAD DE INGENIERIAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y ESTADISTICA
PALMIRA
2011**

**DISEÑO DE UN PROGRAMA (TPM) PARA EL MEJORAMIENTO DE UN
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL CENTRO DE
FORMACION INTEGRAL PROVIDENCIA AREA CONFECCIONES.**

BETSY YISELI DELGADO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Industrial

Director:

ING. RAÚL ANTONIO DÍAZ PACHECO MSc.
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA
FACULTAD DE INGENIERIAS
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y ESTADISTICA
PALMIRA
2011**

Nota de aceptación:

Firma presidente del Jurado

Firma jurado

Firma jurado

Fecha de entrega (17, enero de 2012)

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado a dos personas muy especiales, sin las cuales no hubiera sido posible su elaboración.

A mi mamá que siempre cree en mí, logrando ser el motor de mi vida.

Y a José Castillo por su motivación permanente e incondicional apoyo brindándome las fuerza necesarias para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento en primer lugar a Dios por guiarme siempre por el camino correcto, darme la oportunidad de poder asumir este proyecto y darle cumplimiento.

De manera muy especial al Centro de Formación Integral de Providencia por tener siempre sus puertas abiertas y brindarme un apoyo incondicional siendo una parte fundamental en la finalización de este trabajo.

Al ING. Raúl Antonio Díaz quien me orientó con su conocimiento y experiencia enmarcando el último escalón hacia un futuro donde es participe el mejoramiento de enseñanza y aprendizaje.

En general a todos los docentes que me han acompañado durante el largo camino de mí proceso académico, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimiento y reforzando mi formación como estudiante universitario.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCION	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACION	18
3. OBJETIVOS	20
3.1. OBJETIVO GENERAL	20
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
4. MARCO TEORICO	21
5. ESTADO DEL ARTE	35
6. METODOLOGÍA	36
6.1. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	36
6.1.1. Evaluación de cada componente en la gestión del mantenimiento y análisis de fallas de los equipos.	36
6.2. METODO DE RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN	36
6.2.1. Procesamiento y análisis de la información	37

6.3.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MEJORADO	37
6.4.	APLICACIÓN DE MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA ESTABLECER UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	37
6.5.	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO	38
6.6.	DISEÑO DE INDICADORES DE GESTIÓN	38
7.	DESARROLLO	39
7.1.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	41
7.1.1.	Primera fase: Descripción de la empresa	41
7.1.1.1.	Ubicación y área de influencia	42
7.1.1.2.	Descripción del proceso productivo	42
7.1.2.	Segunda fase: Diagnóstico de la situación actual del departamento de mantenimiento	43
7.1.2.1.	Diagrama causa y efecto de la situación actual	44
7.1.2.2.	Condiciones actuales de los componentes del programa de mantenimiento	46
7.1.3.	Tercera fase: Indicadores actuales de la empresa	47
7.1.3.1.	Cálculo de la eficiencia global de la planta	48
7.1.3.2.	Indicadores de la administración del mantenimiento actual	52
7.1.3.3.	Costos en los que se incurren en el mantenimiento actualmente	53
7.1.3.4.	Análisis de fallas	55
7.2.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MEJORADO	56
7.2.1.	Paso uno: Evaluación y análisis de partida de los equipos de producción	56
7.2.1.1.	Recolección de la información	56
7.2.2.	Paso dos: Revertir el deterioro y corregir debilidades	70
7.2.2.1.	Mantenimiento autónomo	70
7.2.3.	Paso tres: Sistema de gestión de la información	81
7.2.4.	Paso cuatro: Creación de un programa de mantenimiento periódico	83
7.2.4.1.	Formulación del modelo matemático	83

7.2.4.2.	Solución del modelo matemático	86
7.2.4.3.	Evaluación y análisis del modelo	88
8. CONCLUSIONES		92
9. RECOMENDACIONES		93
10. BIBLIOGRAFIA		94
ANEXOS		97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de los tipos de mantenimiento	23
Tabla 2. Criterios para evaluar características del equipo.....	28
Tabla 3. Componentes del programa mantenimiento.....	30
Tabla 4. Estado del arte.....	36
Tabla 5. Indicador de producción	52
Tabla 6. Indicadores del mantenimiento	54
Tabla 7 Costo de mantenimiento por unidad de producción	55
Tabla 8. Costos de mantenimiento vs costos de producción.	56
Tabla 9. Pareto de la clasificación de las fallas	57
Tabla 10. Criterios de evaluación para priorizar los equipos para mantenimiento preventivo.	58
Tabla 11. Valor de criterio	59
Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta	60
Tabla 13. Máquinas crítica	66
Tabla 14. Tiempo de un grupo de equipos sin fallos en el periodo Enero – Junio 2011.....	67
Tabla 15. Datos del modelo Weibull	68
Tabla 16. Recta de regresión.....	69

Tabla 17. Parámetros del modelo Weibull.....	69
Tabla 18. Datos del test de Kolmogorov.	70
Tabla 19. Parámetros de la prueba	70
Tabla 20. Valores de gamma.....	71
Tabla 21. Estándar provisional de limpieza, chequeo y lubricación.	79
Tabla 22. Indicador de la gestión de mantenimiento.....	92
Tabla 23. Indicador de la eficiencia del trabajo en el mantenimiento.	93
Tabla 24. Indicador de los costos de mantenimiento.....	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pilares del TPM.	25
Figura 2. Esquema del sistema de mantenimiento planificado.	27
Figura 3. Sistema típico de mantenimiento.	29
Figura 4. Maximización de la eficiencia de la producción.	31
Figura 5. Estructura del desarrollo de la metodología.	41
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de confecciones.	45
Figura 7. Diagrama de causa y efecto de la situación actual.	46
Figura 8. Eficiencia global de la empresa.	53
Figura 9. Las etapas del programa de mantenimiento autónomo.	73
Figura 10. Responsabilidad de producción en la mantención de los equipos.	82
Figura 11. Diagrama de la información del mantenimiento.	83
Figura 12. Modelo en lenguaje de Ampl.	88
Figura 13. Modelo en lenguaje Ampl de forma abreviada.	89

Figura 14. Archivo de comando en el solucionario.	89
Figura 15. Resultados obtenidos en el solucionador Knitro.	89
Figura 16. Resultado del modelo de mantenimiento.	91

RESUMEN

El presente trabajo de grado, tuvo como propósito mejorar cada uno de los componentes del programa de mantenimiento actual del Centro de Formación Integral de Providencia. Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizó una investigación cualitativa y cuantitativa con un diseño descriptivo, realizando entrevistas, implementado formatos de registros como técnica de recolección de información. Para realizar el análisis de los datos se utilizaron herramientas de ingeniería y estadística como la programación no lineal, diagrama de pareto, distribución de frecuencia de fallos entre otras. Se propuso un nuevo programa adoptando la cultura del TPM aplicada a empresas de confecciones, complementado con un modelo de programación no lineal para establecer una nueva política de gestión del mantenimiento, obteniendo como resultados la integración y compromiso de todo el personal tanto del departamento de mantenimiento como de producción, maximizando la confiabilidad de los equipos y una disminución de los costos totales incurridos por el desarrollo de las actividades de mantención.

Palabras claves: Programación del mantenimiento planificado; Mantenimiento periódico de equipos en serie.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es de gran importancia que las empresas debido a la exigencia tanto en productividad como en competitividad, se preocupen por tener procesos que sean eficaces y eficientes para el logro de resultado.

De manera constante se habla de tener buenos procesos, que cumplan con las metas y objetivos planteados por la organización, sin embargo, para el logro de este ideal es necesario centrarse en un factor crítico de cualquier compañía con un proceso de producción como lo son la maquinaria y equipo.

En el Centro de Formación Integral Providencia Área Confecciones se hace evidente la relación entre el buen funcionamiento de los equipos y los niveles de producción, es de aquí que nace la necesidad de diseñar un programa de mantenimiento que optimice los niveles de eficiencia de la maquinaria dando razones para efectuar un mantenimiento preventivo planificado con bases en lineamientos de los costos de operación y el efecto en el mantenimiento correctivo.

Dimensionando de igual forma la importancia que tiene la aplicación adecuada del mantenimiento preventivo y los beneficios que se obtendrá a corto plazo en ahorro de los costos de operación.

En el Centro de Formación Integral de Providencia Área Confecciones se dispone de un departamento de mantenimiento de producción definido que se encarga de la mantención de los equipos críticos y del proceso. No obstante, bajo la guía de un mejoramiento continuo se hace necesaria y fundamental la mejora del sistema de mantenimiento de los equipos de producción con técnicas avanzadas como las que nos proporciona el TPM, a través de modelos y herramientas de ingeniería para la consecución de los objetivos de la empresa.

Este proyecto incluye estrategia de mejora de mantenimiento preventivo, como es el diagnóstico del proceso productivo y sus componentes, métodos de evaluación que asisten al proceso de toma de decisiones en cuanto a las acciones preventivas manejados con criterios económicos y centrados en el ahorro de los costos generales que se verán reflejados en la rentabilidad de la empresa. Todo esto con la finalidad de mejorar el funcionamiento, productividad, calidad e innovación en la organización.

Este trabajo tiene como metodología el análisis de las fallas en el equipo productivo; consistente en la detención y corrección de las fallas que se presentan usando un enfoque sistemático y programado que permite tener en cuenta las variables que involucran un plan de mantenimiento preventivo (materiales, mano de obra, metodología, frecuencias, equipos críticos, etc.) Siendo dirigido a personal de las áreas de mantenimiento, ingeniería, calidad, producción, procesos y todos aquellos que tengan que ver con la mejora continua del proceso productivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las industrias buscan maximizar su eficacia, sacando el mayor beneficio de los recursos disponibles, por esta razón el Centro de Formación Integral Providencia Área Confecciones, busca mejorar el actual programa de mantenimiento preventivo.

El departamento de mantenimiento presenta dificultades, debidas a su organización y proyección interna, existen una serie de limitaciones y deficiencias, entre ellas están:

- Es habitual realizar reparaciones bajo un mínimo nivel organizativo y la planificación es escasa.
- En algunos casos los operarios no realizan limpieza ni mantienen el puesto de trabajo organizado y esta labor pasa a manos de la persona encargada de mantenimiento.
- Las máquinas no están clasificadas por criticidad, así que las piezas de recambio para los mantenimientos correctivos no siempre están disponibles en el almacén.
- No se registran en los formatos todas las paradas que se presentan en la maquinaria, solamente se registran paradas críticas mayores a 30 minutos definidas por la persona encargada de mantenimiento.

No se establecen indicadores adecuados que determinen con que frecuencias se debe cambiar una pieza, una reparación general completa de la unidad o hasta la sustitución total de la máquina.

En el diagnostico inicial realizado en el Centro de Formación Integral Providencia Área Confecciones, se observa que la documentación existente presenta falencias en los registros de la fallas de equipos en cuanto a la continuidad y veracidad, los indicadores que se presentan no están actualizados, los formatos en los que se

Llevar los registros son ineficientes, debido a que no presentan todas las variables necesarias para realizar un análisis completo de mantenimiento, por ejemplo, no se divide los costos en que se incurren costo de mano de obra, costo de repuesto, horas improductivas debido al mantenimiento entre otras y solo se cuenta con los presentados en el anexo A. (Formato de recolección de datos de mantenimiento actual). A continuación se realiza la descripción del proceso de confección donde se describe la problemática puntual en las diferentes etapas del proceso de confecciones:

ETAPAS PRINCIPALES DEL PROCESO DE CONFECCIONES



Desarrollo del producto:

Esta etapa del proceso implica la compra de materia prima, el desarrollo de los moldes, la elaboración de la muestra, se determina las tallas y los colores a utilizar, este proceso incluye también diseños de estampados y bordados que lleva la prenda.

Corte: Consiste en la disposición de los moldes sobre la mesa de corte, la superposición de las telas, y el posterior corte. Luego se realiza el empaquetado e identificación de las piezas para su posterior ensamble.

En esta etapa el problema más frecuente que se presenta es la humedad y textura de la materia prima, se hacen difíciles los cortes y esto deteriora la máquina.

Maquinaria: Máquinas de corte vertical, máquinas electrónicas

Ensamble: Costura de las partes de la prenda, armado. Incluye tareas previas o simultaneas a las especificadas de ensamble, como preparación de bolsillos, partes de prendas, etc.

En esta etapa lo mas importante de resaltar es el tiempo que se pierde ajustando una puntada en los equipos, gastándose aproximadamente 15 min en este tipo de arreglos y en el cambio de las líneas de producción cuando llega una nueva orden para su confección , demorándose aproximadamente 2 horas en los tiempos de alistamiento.

Maquinaria: Máquinas dos agujas, máquina fileteadora.

Terminado: Ojalado, pegado de botones, cierres, plancha, embalaje. Incluye tareas de revisado de prendas y registro de fallas.

En esta etapa el problema fundamental es el continuo reviente de hilos, esto se presenta debido a la velocidad de las máquinas.

Maquinaria: máquinas ojaladoras, máquinas botonadora, máquina presilladora.

Proceso complementarios de estampado y bordado:

Consiste en aplicar dibujos elaborados mediante la combinación de pigmentos que imprimen color a la tela en el primer caso, y de bordar la superficie del tejido con hilos fabricados para este uso específico.

Se aplican después del corte sobre partes de la prendas como, por ejemplo, mangas, bolsillos o delanteras. Luego de efectuado el proceso se reciben las partes para adjuntarlas al resto del corte y efectuar el ensamble.

En esta etapa la problemática está identificada en la materia prima perjudicando directamente las máquinas que intervienen en este proceso debido a que se pegan y es difícil dar continuidad.

2. JUSTIFICACION

De acuerdo a los lineamientos del TPM, implementar una cultura que busca la mejora continúa de los equipos, el logro del 100% en la eficiencia del proceso de producción e incluyendo directamente al personal, es la forma mas efectiva de aumentar la productividad y generar un adecuado ambiente laboral.

Esta filosofía que se centra en un adecuado mantenimiento y operación de la maquinaria y equipos puede lograr:

- Reducir en un 20% los defectos en el proceso.
- Reducir en un 30% el costo por mantenimiento.
- Aumentar la capacidad de los equipos en un 15%.

De acuerdo al promedio registrado en empresas que han implementado esta cultura organizacional según la compañía especializada en el diseño e implementación del mantenimiento productivo total “TPM especialistas en equipos pesados”.

De esta forma, mejorar el programa de mantenimiento en el Centro de Formación Integral de providencia permitirá básicamente aumentar la confiabilidad de la maquinaria y equipos para maximizar la productividad al menor costo de la mantención, desarrollando herramientas que permitan a los mandos intermedios de la empresa y a la dirección tener el control de sus recursos, basado en registros de fallas de los equipos críticos recopiladas y sistemáticamente analizados.

Además de dar lugar al inicio de una nueva cultura organizacional que contribuya a la mejora continúa de la empresa a través del personal por medio de un aumento en las sugerencias enfocadas a eliminar las perdidas que se presentan normalmente en un proceso de producción respecto a materias primas, ajuste de equipo, mejoras en tiempos improductivos, entre otras.

Una de las formas de consolidar la competitividad de las empresas es garantizar calidad de sus productos y servicios mediante la implementación de programas que aseguren que todos los procesos operen dentro de los límites de control y características establecidas previamente por la dirección de la empresa.

En el Centro de Formación Integral de Providencia de acuerdo a la política y directrices del sistema de gestión de calidad implementado recientemente, y conscientes de la necesidad del mejoramiento continuo para ser cada día más competitivos, ven viable el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo actual debido a las falencias encontradas en el diagnostico inicial de la empresa y como requisito al cumplimiento de los elementos en el numeral 7 (calidad del producto) y 8 (la mejora continua) de la norma ISO 9001.

La realización de este trabajo de grado, me permitirá crecer a nivel profesional logrando el desarrollo y aplicación de los conceptos teóricos adquiridos en el campus de la universidad.

Y a nivel personal la experiencia de aprender a trabajar en equipo, con un conjunto de personas multidisciplinarias y con diferente nivel académico complementando conocimientos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan que ayude a mejorar la gestión del sistema de mantenimiento preventivo actual por medio de herramientas de ingeniería.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del área de confección en el centro de Formación Integral Providencia Área Confecciones analizando y calculando registros de la estrategia actual de mantenimiento preventivo.
- Hacer uso de la modelación para establecer una política de mantenimiento preventivo.
- Analizar y evaluar los resultados de la modelación.
- Plantear indicadores que permitan monitorear periódicamente fallas, tasa de rendimiento, tasa de calidad.

4. MARCO TEORICO

4.1. DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

“Es el conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones que permiten garantizar que los equipos de producción, instalaciones y organizaciones que conforman un “proceso básico” o línea de producción, puedan desarrollar el trabajo que tienen previsto en un plan de producción en constante evolución por la aplicación de la mejora continua¹”.

4.1.1. Objetivos principales del mantenimiento

- Reducir los costes que causan las paradas producidas por averías.
- Reducir el deterioro de los elementos, equipo o instalaciones en general.
- Mejorar la calidad de los productos y de las instalaciones.
- Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalación.

4.1.2. Tipos de mantenimiento

Existen cuatro tipos de mantenimiento reconocidos, que se diferencian entre si por el contenido de las actividades que se desarrollan, por ejemplo en función del momento en que se realiza, el objetivo particular que lo lleva a efectuar y en función a los recursos utilizados, resumidos en el siguiente cuadro:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.

¹ REY, Francisco. Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo pág. 59.

- Mantenimiento autónomo.

Tabla 1. Resumen de los tipos de mantenimiento

	Mantenimiento correctivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Predictivo	Mantenimiento Autónomo
Definición	Se ejecuta en caso de falla notable en el rendimiento operativo del equipo o inactividad total.	Tareas de sustitución o reparación hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Tiene en cuenta patrón de desgaste.	Buscan el indicio o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Tiene en cuenta la condición del equipo	Son las actividades que los operarios de una fábrica realizan para cuidar correctamente su área de trabajo, maquinaria, calidad y seguridad.
Ventajas	Bajo costo de implementación.	El mantenimiento es programado para momento productivo oportuno.	Costos reducidos de mantenimiento debido a que; se evita el mantenimiento innecesario, se detecta anomalías antes de que las fallas catastróficas ocurran.	Se cuenta con personal mas capacitado.
Desventajas	Alto costo de reparación, peligros potenciales a la seguridad, integridad de la planta y medio ambiente.	Remplazo innecesario de partes, que pueden generar costos de mantenimiento elevados.	Equipos especializados, personal especializado, monitoreo mal implementado, estimación inadecuada de intervalos P- F.	Debilidad en la definición de los límites de las tareas del departamento de producción como apoyo al departamento de mantenimiento.
Aplicación	Cualquier equipo (Se recomienda a aplicar a equipos no críticos).	Equipos con elementos o partes sometidas a desgaste progresivo. No es viable aplicar cuando el costo de la avería es menor al costo del mantenimiento.	Equipos eléctricos, mecánicos, hidráulicos, estáticos.	Sistemas de protección y respaldo que puede tener modos de falla ocultos.

Fuente: Anónimo.

4.2. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

“El mantenimiento productivo total tiene como finalidad la mantención de estándares y la búsqueda permanentes de la mejora con el fin de mejorar los comportamientos técnicos de un proceso, a través de una implicación concreta y una participación diaria de todos los miembros y funciones de la organización, en

particular de todas las relacionadas con el proceso productivo y así mismo, busca la innovación en los sistemas para alargar su ciclo de vida”².

4.2.1. Objetivo principal del TPM

Es la “Mejora Continua” del rendimiento operacional de todos los procesos y sistemas de producción junto con la máxima eficiencia de los equipos, integrando a toda la organización, a través de una dinámica grupal focalizada en los trabajos de mantenimiento, evitando las paradas y minimizando los tiempos de intervención.

Objetivos específicos

- Conseguir el rendimiento operacional que cubra la vida entera del equipo de producción.
- Mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos para eliminar fallos.
- Realizar análisis estadísticos y llevar registros a través de la experiencia adquirida en las actividades TPM, que ayuden a la toma de decisiones.
- Formar agentes técnicos y operadores que desarrollen esta gestión de la manera más eficiente.

4.2.2. Beneficios del TPM³

- Aumento de la productividad neta (descenso del número de averías súbitas, aumentar la eficiencia global de la planta).
- Descenso de tasa de defecto del proceso (Descenso de reclamos de los clientes).
- Reducción de costos de producción.
- Se reducen el stock de productos y trabajos en curso.
- Reducción de accidente.
- Incremento de ideas de mejora.

² REY, Francisco. Mantenimiento total de la producción (TPM): Proceso de implementación y desarrollo. pág. 60.

³ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pág. 4- 6.

4.2.3. Estrategias

Como las actividades TPM fueron contempladas primeramente en el entorno de los departamentos de producción, el Mantenimiento se definió originalmente en el Japan Institute of Plan Maintenance (JIPM) incluyendo las siguientes estrategias:

1. Maximizar la eficiencia global que cubra la vida entera del equipo.
2. Establecer un sistema mantenimiento preventivo global que cubra la vida entera del equipo.
3. Involucrar a todos los departamentos que planifiquen, usen y mantengan los equipos.
4. Involucrar a todos lo empleados desde la alta dirección hasta los operarios directos.
5. Iniciar el mantenimiento preventivo motivando a todo el personal, promoviendo las actividades de los pequeños grupos autónomos.

Figura 1. Pilares del TPM⁴.



⁴Free Logistics, "the free supply chain portal". <http://www.free-logistics.com/index.php/es/Fichas-Tecnicas/Conceptos-de-la-Cadena-de-Suministros-Supply-Chain/Mantenimiento-Productivo-Total-TPM.html> [Septiembre 2009].

4.2.4. Pilar “mantenimiento planificado”.

Es una actividad estructurada para lograr mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costos. Es un programa de desarrollo de TPM, el mantenimiento planificado es una actividad metódicamente estructurada para lograr estos dos objetivos.

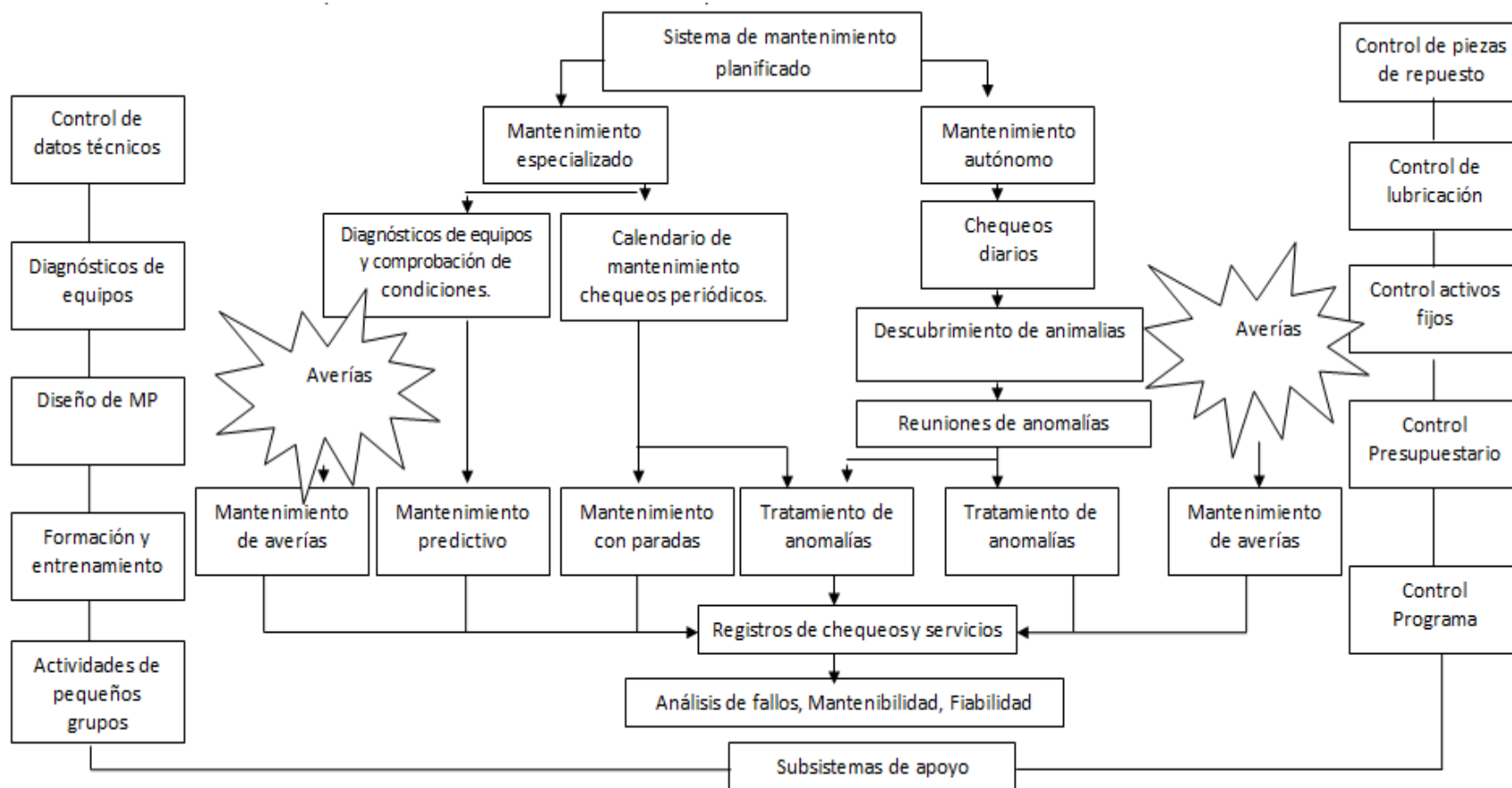
4.2.4.1. Evaluación del sistema de mantenimiento planificado.

“El objetivo del mantenimiento planificado en las industrias, no es meramente planificar los calendarios y técnicas de mantenimiento, sino también planificar los métodos para mantener eficazmente la funcionalidad y fiabilidad esperadas de los equipos. Básicamente, el mantenimiento planificado sistematiza las técnicas de mantenimiento más eficaces para eliminar los fallos que conducen a la degradación o pérdida total de las funciones de producción del equipo”⁵.

En la figura 2. Se muestra como se complementan los departamentos de mantenimiento y de producción, para lograr un programa planificado eficiente. Integrando las responsabilidades del personal de mantención como son el mantenimiento periódico basado en un cronograma y siendo las del personal de producción la supervisión de las condiciones básicas de los equipos por medio de chequeos de rutinas, limpiezas y lubricación diaria.

⁵ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pg. 195 - 167.

Figura 2. Esquema de sistema de mantenimiento planificado⁶.



MP: Mantenimiento Preventivo.

⁶ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pg. 197.

4.3. CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE EQUIPOS⁷.

Los equipos se evalúan en función de la seguridad, calidad, operabilidad, Mantenibilidad, etc., generando de esta manera una clasificación de acuerdo a su importancia en el proceso productivo y al valor que cada departamento establezca. En las que serán incluidas en el plan de mantenimiento preventivo las de clase (A= críticas, B= semi-críticas) los requerimientos de clasificación varían dependiendo el proceso en dónde todos los diferentes departamentos de la compañía deben evaluar los atributos de las máquinas.

Tabla 2. Criterios para evaluar características del equipo.

ATRIBUTOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	CLASE
SEGURIDAD: Efecto del fallo sobre personas y entorno	Un fallo de equipo que expone a riesgo de explosión u otros peligros; el fallo del equipo causa una polución seria.	A
	El fallo-del equipo puede afectar adversamente el entorno	B
	Otros equipos	C
CALIDAD: Efecto del fallo sobre calidad del producto	El fallo del equipo tiene un gran efecto sobre la calidad puede producir reacciones anormales que den origen a un producto fuera de especificaciones.	A
	Un fallo del equipo produce variaciones de calidad que puede corregirse por el operario de forma relativamente rápida.	B
	Otros equipos	C
ATRIBUTOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	CLASE
OPERACIÓN: Efecto del fallo sobre la producción	Equipos con grandes efectos sobre la producción, sin unidades de reservas, cuyos fallos son causas de que los procesos previos y siguientes paren por completo.	A
	Un fallo del equipo causa solo una parada parcial	B
	Un fallo del equipo tiene poco o ningún efecto sobre la producción	C
MANTENIMIENTO: Tiempo y coste de reparación.	La reparación del equipo toma 4 o más horas y el costo de mantenimiento es elevado, se produce tres a mas fallos por mes	A
	El equipo puede repararse en menos de 4 horas , a un costo entre 50.000 y 500.000 pesos o fallos menos de tres veces por mes (datos suministrados por la empresa)	B
	El costo de la reparación es inferior a 50.000 o se puede dejar de reparar hasta que surja una mejor oportunidad.	C

⁷ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pg. 167.

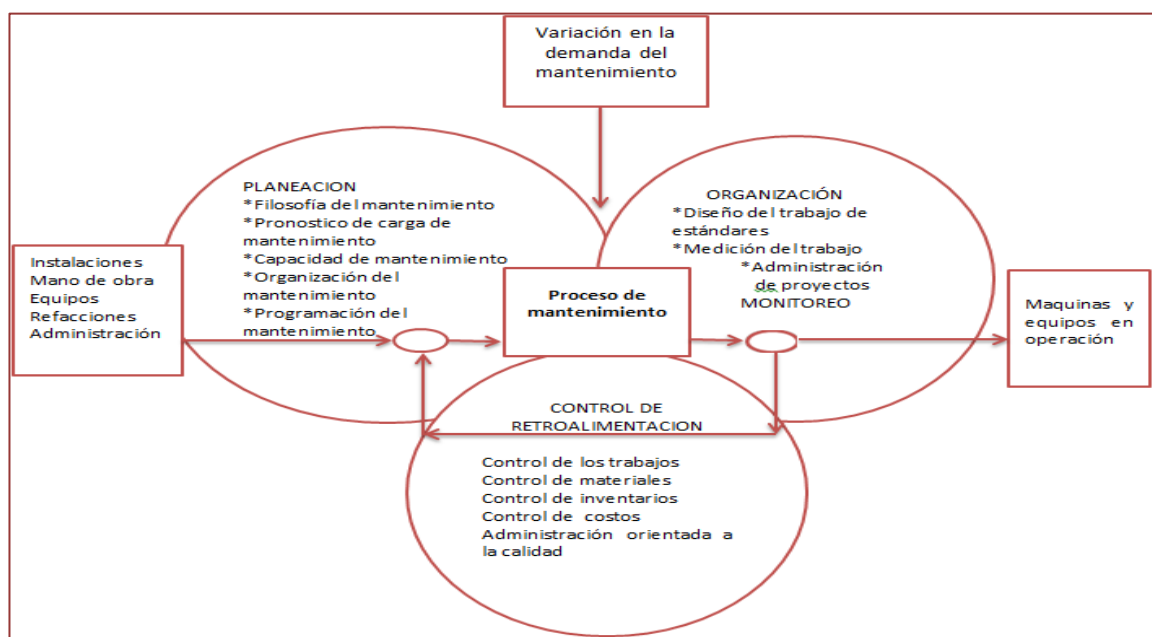
4.4. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO⁸.

Un sistema de mantenimiento puede verse como un modelo sencillo de entradas – salidas.

Entradas: Mano de obra, administración, herramientas, equipos etc.

Salidas: Es el equipo funcionando, de forma confiable y bien configurado para lograr la operación planeada de la planta.

Figura 3. Sistema típico de mantenimiento.



4.4.1. Componente de un programa de mantenimiento preventivo⁹.

Implementar un sistema de mantenimiento preventivo exige una planificación, previsión, control y registros por adelantado cuidadosos, por ello se debe seguir una secuencia de actividades.

Cuando se diseña un programa de mantenimiento preventivo se debe realizar coordinación a fin de balancear las cargas de trabajo y cumplir con los requisitos del departamento de producción.

1. Evaluar el equipo y comprender las condiciones actuales de partida.
2. Restaurar el deterioro y corregir las debilidades.
3. Crear un sistema de gestión de la información
4. Crear sistema de mantenimiento periódico
5. Evaluar el sistema de mantenimiento preventivo

⁸ DUFFUAA Raof, Sistemas de mantenimiento planeación y control. Pg. 31

⁹ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pg. 160.

En la tabla 3. Se presenta en una forma más detallada las diferentes etapas que comprende un programa de mantenimiento preventivo para máquinas y equipos de una empresa.

En las diferentes etapas del programa de mantenimiento preventivo se puede evidenciar que este programa no solo afecta la parte de producción y maquinaria, si no que incluye los niveles de inventario de las piezas de repuestos que se deben administrar de una manera eficiente.

Tabla 3. Componentes del programa mantenimiento¹⁰.

ACTIVIDADES	DESCRIPCION
1. Evaluar el equipo y comprender la situación actual de partida	Preparar o actualizar los registros de los equipos Evaluar los equipos: establecer los criterios de evaluación, priorizar los equipos y seleccionar equipos y componentes para MP. Definir rangos de fallos Comprender la situación: Medir el numero, frecuencia y severidad de los fallos y pequeñas paradas: MTBF, costos de mantenimiento, tasas de mantenimiento de averías. Establecer objetivos de mantenimiento (indicadores método de medir resultados)
2. Revertir el deterioro y revertir debilidades	Establecer condiciones básicas (apoyar el mantenimiento autónomo). Poner en práctica actividades de mejora orientada para corregir las debilidades y ampliar los periodos de vida. Tomar medidas para impedir la ocurrencia de fallos idénticos o similares. Introducir mejora para reducir los fallos de procesos
3. Crear un sistema de gestión de información	Crear un sistema de gestión de datos de fallos Crear un sistema de gestión del mantenimiento de equipo (control de historiales de máquina, planificación del mantenimiento, planificación de inspecciones, etc.) Crear sistema de gestión de presupuesto de equipo Crear sistema para controlar piezas de repuesto, planos, datos técnicos etc.
4. Crear un sistema de mantenimiento periódico	Preparación del mantenimiento periódico (control de unidades de reservas, piezas de repuestos, instrumentos de medida, lubricantes planos, datos técnicos, etc.) Preparar el diagrama de flujo del sistema de mantenimiento periódico Seleccionar equipos y componentes a mantener y formular un plan de mantenimiento. Preparar o actualizar estándares (estándares de materiales, de trabajo de inspección, de aceptación). Mejorar la eficiencia del mantenimiento con paradas general y reforzar el control del trabajo subcontratado
5. Evaluar el sistema de mantenimiento planificado	Evaluar el sistema de mantenimiento planificado Evaluar la mejora de la fiabilidad: numero de fallos y pequeñas paradas, MTBF, frecuencia de fallos, etc. Evaluar la mejora de la Mantenibilidad: tasa de mantenimiento periódico, tasa de mantenimiento predictivo, MTTR, etc. Evaluar los ahorros de costos: reducción en los gastos de mantenimiento, mejoras en la distribución de los fondos para mantenimiento

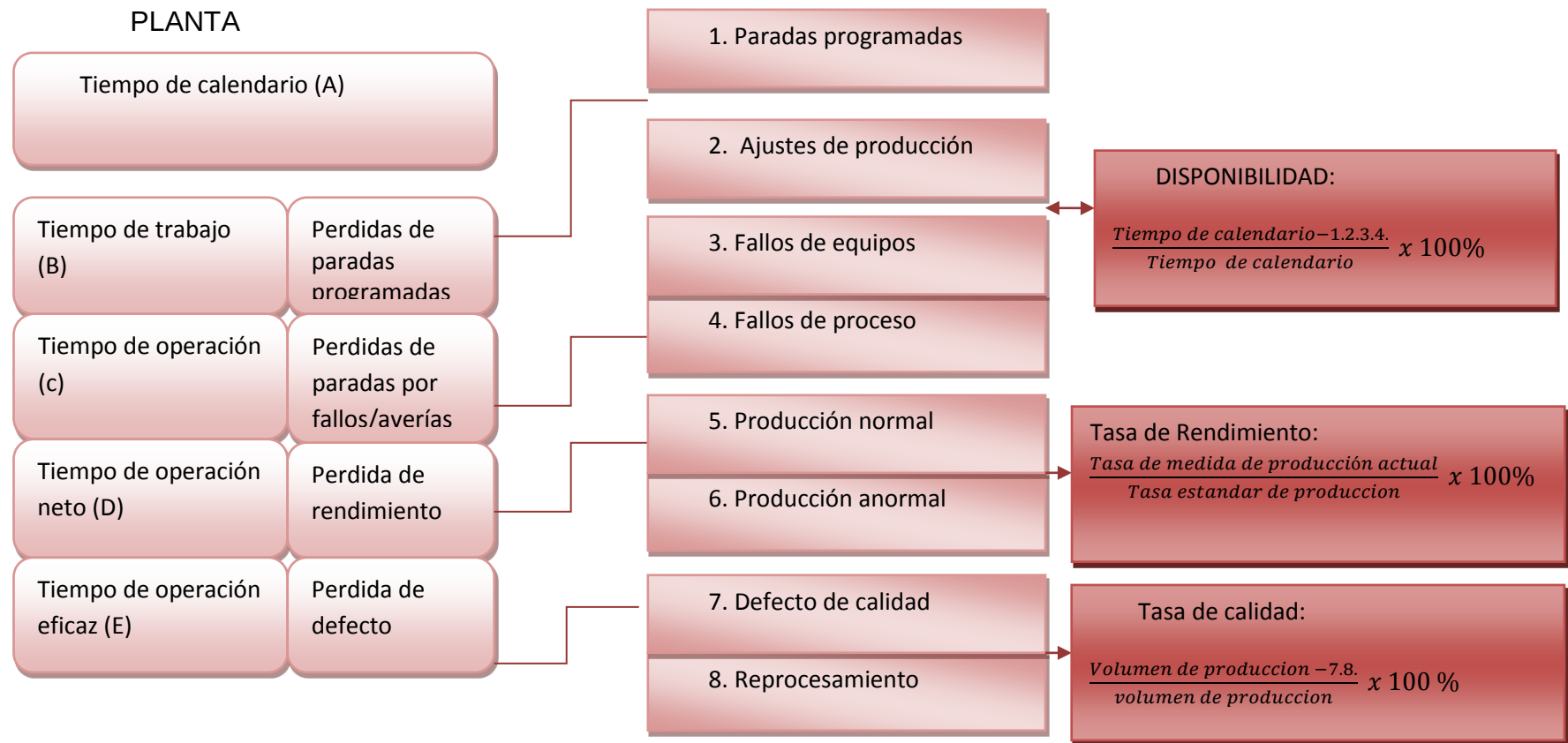
4.4.1.1. Evaluación de los parámetros globales de una planta

En la figura 4. Se presenta uno de los indicadores mas utilizados a nivel mundial, para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial, constituida por tres parámetros que permiten identificar los principales motivos que pueden generar las perdidas en un proceso manufacturero.

¹⁰ Japan Institute of Plant Maintenance, TPM en industrias de proceso pg. 161.

Figura 4. Maximización de la eficiencia de la producción¹¹

El indicador de la eficiencia global de una planta, se utiliza como una herramienta de mejora continua, puede utilizarse para evaluar la eficiencia con la que se utiliza la planta y se añade valor, es calculado combinando tres elementos asociados a cualquier proceso de producción: disponibilidad, rendimiento y calidad. Proveniente de la filosofía del TPM en la que interviene las seis grandes pérdidas.



¹¹ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pág. 29

4.5. MODELO DE GESTIÓN DE OPERACIONES¹².

En este apartado se describen los fundamentos teóricos y métodos de análisis de datos para el mejoramiento de la gestión de la producción y el mantenimiento de los equipos.

4.5.1. Modelo de confiabilidad “leyes de probabilidad”

En el diseño de los programas de mantenimiento, se deben conocer la frecuencia de fallo de los equipos, debido a que dichos eventos son aleatorios, se utilizan las leyes de probabilidad clasificándose según describan eventos discretos (números de fallas) o continuas (tasa de fallos proporcionales a una potencia de tiempo).

Tipos de leyes de probabilidad

- Ley de Poisson
- Ley Gaussiana
- Ley Exponencial
- Ley de Weibull

4.5.1.1. Ley de Weibull

Esta distribución es usada en estudios de confiabilidad, especialmente de sistemas mecánicos. Tiene la ventaja de ser muy flexible y adaptable a una variedad de observaciones experimentales, teniendo en cuenta fatiga, vida de componente y materiales. De las distribuciones utilizadas para la confiabilidad es la que más se ajusta, modelando la tasa de fallos en este caso.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$
$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

β es el parámetro de forma;
 η es el parámetro de escala;
 γ es el parámetro de localización.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$
$$MTBF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

¹² PASCUAL, Rodrigo. “Gestión moderna del mantenimiento” versión 2. Julio 2002.

Los parámetros del modelo de Weibull nos permite conocer los tiempos entre inspecciones al fijar niveles bases de confiabilidad.

El valor del parámetro de forma del modelo “ β ” nos muestra en que parte del ciclo de vida se encuentra un equipo, es decir en una alta mortalidad infantil, en un intervalo de falla al azar o en una zona de desgaste. Si $\beta < 1$ se debe reducir las inspecciones del programa de mantenimiento preventivo. En caso contrario es necesario aumentar las reparaciones preventivas para ser más rentable el proceso.

4.5.2. Verificación de modelos

Para lograr entender la ley que describe el comportamiento de la confiabilidad de los equipos, se debe hacer un previo análisis al conjunto de datos observados; proponer una hipótesis en donde las observaciones obedezcan a una ley de probabilidad en particular, posteriormente se obtiene los parámetros que serán verificados por los diferentes pruebas de bondad de ajuste, como por ejemplo test X^2 o el test de Kolmogorov.

Debido a que contamos con variables continuas, para modelar las observaciones de fallos, se verificara el modelo de Weibull por medio de la prueba de Kolmogorov – smirnov, dado que el test X^2 solo se realiza para variables discretas.

4.5.2.1. Test de kolmogorov – Smirnov.

“El test de Kolmogorov se basa en comparar la verdadera función de distribución con la dada por la ley propuesta; se usan los valores absolutos de las diferencias entre punto y punto”¹³.

Sea $\mathcal{F}(t)$ la verdadera distribución y $F(t)$ la distribución propuesta. La discrepancia para t_i es:

$$D_{n_i} = \mathcal{F}(t) - F(t)$$

$\mathcal{F}(t)$ puede ser estimado por el método de los rangos medios

$$\mathcal{F}(t) = \frac{i}{n+1}$$

Puede demostrarse que la distribución de $D_n = \max(D_{n_i})$ depende solo de n ; y se puede escribir:

$$P\left(\max_i |\mathcal{F}(t) - F(t)| < D_{n,\alpha}\right) \leq 1 - \alpha$$

¹³ PASCUAL, Rodrigo. “Gestión moderna del mantenimiento” versión 2. Julio 2002.

Como cualquier test de hipótesis, la hipótesis nula se rechaza cuando el valor supera un cierto valor crítico que se obtiene de unas tablas de probabilidad.

Pasos para la elaboración del test de Kolmogorov¹⁴

1. Obtener datos de las variables aleatoria a analizar
2. Calcular la media y la varianza de los datos
3. Crear un histograma de $m = \sqrt{n}$ intervalos, y obtener la frecuencia observada en cada intervalo O_i
4. Calcular la probabilidad observada en cada intervalo $PO_i = \frac{O_i}{n}$, se divide la frecuencia observada O_i entre el numero total de datos, n .
5. Acumular las probabilidades PO_i para obtener la probabilidad observada hasta el i -esimo intervalo, POA_i .
6. Establecer explícitamente la hipótesis nula, proponiendo una distribución de probabilidad que se ajuste a la forma del histograma.
7. Calcular la probabilidad esperada acumulada para cada intervalo, PEA_i , a partir de la función de probabilidad en este caso distribución Weibull.

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$$

$$PEA_i = f(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \text{ Donde } \beta, \alpha \text{ son los parámetro de modelo Weibull.}$$

8. Calcular el estadístico de la prueba:
 $C = \max |PEA_i - POA_i| \text{ } i = 1, 2, 3, \dots, k, \dots, m.$
9. Definir el nivel de significancia de la prueba α , y determinar el valor crítico de la prueba (tabla en el índice del libro simulación y análisis de sistemas con Promodel).
10. Comparar el estadístico de prueba con el valor crítico.

4.5.3. Modelos matemáticos¹⁵

Los modelos matemáticos son el producto de una abstracción de un sistema real, haciendo suposiciones pertinentes y obteniendo una representación simbólica del mismo. En donde las entidades del sistema y sus atributos se representan mediante variables matemáticas, y las actividades se describen mediante funciones matemáticas.

¹⁴ GARCIA Eduardo, GARCIA Heriberto, CARDENAS Leopoldo. "Simulación y análisis de sistemas con Promodel". Pág. 60.

¹⁵ Taha Hamdy. "Investigación de operaciones" pág. 5 - 739. 7 a. edición.

Se componen de tres conjuntos básicos:

- Variables de decisión y parámetros
- Restricciones
- Función Objetivo

Métodos de optimización de problemas matemáticos.

- Método determinístico: Como por ejemplo Problemas lineales, no lineales, de programación entera, la teoría de cola, entre otras
- Método probabilístico
- Método Híbrido
- Método Heurístico

Los problemas de programación no lineal (PPNL).

Se pueden describir:

Maximizar (o minimizar):
 $Z = f(x)$
 $h(x) = 0$
 $g(x) \leq 0$

Donde $X \geq 0$ de no negatividad forman parte de las restricciones

También para que este problema sea no lineal, al menos una de las funciones $f(x)$ y $g(x)$ en su formulación debe serlo, y todas las funciones son continuamente diferenciables.

Este tipo de problemas buscan maximizar o minimizar una cantidad específica llamada objetivo que se encuentra sujeto a una o más restricciones, permitiendo por medio de su solución satisfacer un problema real.

5. ESTADO DEL ARTE

Tabla 4. Estado del arte.

AUTOR/AÑO	OBJETIVO	CONCLUSION	APORTE DEL ARTICULO
Castro, Blanca – Rodríguez, Álvaro Mauricio, LIMA – PERÚ, 2005	Método que utiliza indicadores y encuestas para logra determinar las principales causas de inconformidades del proceso.	Se logra el cumplimiento de objetivos trazados en las que se destacan las disponibilidad, funcionalidad y conservación de los equipos.	La metodología con que se plantea los indicadores determinando su eficiencia en cuanto al cumplimiento de los objetivos.
Muñoz Belen , 2003	Mecanismo de control constante de las instalaciones y sus componentes así como el diseño del programa de reparación y revisión necesarias.	Mejoramiento del programa de mantenimiento y sus componentes.	La conservación de los bienes productivos en condiciones seguras de operación mediante la reducción de los costos.
Scheduling of jobs and maintenance in a textile company. W. J. Chen 2007	Resaltar la importancia de pérdidas de producción debido a fallas o imprevistos mediante variables cualitativas de frecuencias, tamaño de la mano de obra, frecuencia de sustitución de partes y la toma de decisiones mediante los costos de mantenimiento.	Se trabaja acerca de la aplicación del algoritmo genético en el desarrollo de un modelo analítico de mantenimiento preventivo.	El manejo de variables cualitativas para el diseño de un algoritmo genético generando la toma de decisiones con base a los costos.
Técnica del mantenimiento condicional basada en la medición de variables física. García Santiago, 2009.	Determinación de intervalos de confianza para un eficiente mantenimiento preventivo y su aplicación en la planificación.	El trabajo se centra en determinar un programa de remplazo, por medio de herramientas graficas para obtener los limites de confianza en un tiempo planificado.	Permite la identificación de intervalos de confianza para abrir una ventana de oportunidad a un mínimo costo en la actividad de mantenimiento en la empresa.
Cost Optimization of Periodic Preventive Maintenance. RV Canfield, 1986.	Se tiene como objetivo reducir el costo global de mantenimiento a un nivel mínimo y técnicas para mantenerlo.	La simulación como una herramienta efectiva para evaluar la compra de nueva maquinaria.	La importancia de clasificar los costos para evaluar los impactos financieros de las tomas de decisiones de expandir o contraer.

Fuente: Propia

Tabla 4. (Continuación) Estado del arte

AUTOR / AÑO	OBJETIVO	CONCLUSION	APORTE DEL ARTICULO
Information systems for managing maintenance in the main industry of the state of Zulia - Oliva, Karim Arellano, Madelein, 2009	Determinar las características que distinguen los sistemas de información para la gestión de mantenimiento.	El sistema de información para la gestión de mantenimiento, se convierte en una herramienta que logra brindar a las empresas una ventaja competitiva en la industria.	Permitió aclarar los elementos más importantes que pueden llagar a constituir un sistema de información de mantenimiento.
Preventive Maintenance and Replacement Scheduling: Models and Algorithms, 2008.	Diseño de un modelo matemático para la realización de un programa de mantenimiento periódico que incluya mantenimiento y remplazo de componentes.	La aplicación de modelos matemáticos combinados con los conocimientos estadísticos, permiten la creación de una importante herramienta de la ingeniería en el análisis de la edad efectiva de los equipos, utilizando la información para iniciar actividades adicionales de monitoreo.	Aplicación del modelo matemático a la empresa Centro de formación integral Providencia área de confecciones, permitiendo obtener buenos resultados y brindando oportunidades de mejoras.
The implementation of autonomous maintenance. Day, James. Troy, David. Héller Darryl, 2004.	Diseño de un programa de mantenimiento autónomo que lleve a un aumento de la cultura organizacional.	La implementación del programa de mantenimiento autónomo logra involucrar a cada uno de los integrantes de las organizaciones y los vuelven parte de esta nueva cultura, donde se logra responsabilizar cada operario de su herramienta de trabajo y logra el análisis de la problemática recurrente, tomando medidas preventivas.	Aplicación de los lineamientos de un programa de mantenimiento autónomo en el proyecto del centro de formación integral de providencia área de confecciones.
Maintenance concept development: A case study. Geert waeyenbergh Pintelon Liliane 24 sep 2003	Aplicación practica del concepto de mantenimiento implementando una metodología sistemática y coherente para obtener resultados.	El desarrollo paulatino, con una metodología sistemática y una persona responsable de la implementación y cumplimiento del sistema de mantenimiento son los componentes necesarios para un programa exitosos.	Marco conceptual de 7 pasos para el diseño del programa de mantenimiento y la selección de una política de mantenimiento adecuada.

Fuente: Propia

6. METODOLOGIA

6.1. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Se realizó un reconocimiento del proceso de producción de confecciones con el objetivo de conocer la problemática que se presenta, evidenciando como problema principal la deficiencia en los componentes de gestión y la programación del departamento de mantenimiento.

6.1.1. Evaluación de cada componente en la gestión del mantenimiento y análisis de fallas de los equipo.

Por medio de la información recolectada en la parte de mantenimiento acerca del tipo de fallas que se presentan, el tiempo medio en entre cada falla, cada cuanto se presentan y su severidad, la capacitación del personal que esta disponible para resolver mantenimientos de emergencia y cada elemento que compone el sistema de gestión de mantenimiento, se logra obtener la información que facilitó el diseño de un nuevo programa de mantenimiento.

6.2. MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Se recopilaron datos a través de constantes visitas al centro de formación integral, por medio de un formato (anexo C.) que permite la identificación de las variables necesarias para realizar un programa de mantenimiento ajustado a las características de los equipos de producción, Estos datos se recolectaron para desarrollar la mejora.

6.2.1. Procesamiento y análisis de la información

Se realiza el análisis de dichas variables tanto cuantitativas como cualitativas a través de herramientas de ingeniería como son el diagrama de la espina de pescado, diagrama de pareto y además, se complementó con conceptos estadísticos para definir la probabilidad de fallos de los equipos en un intervalo de tiempo definido por medio del modelo de Weibull y posteriormente validado por la prueba de Kolmogorov.

6.3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MEJORADO.

Debido a las falencias encontradas cuando se evaluaron los componentes del programa actual de mantenimiento en la página 44, se diseñaron mejoras en cada uno de los pasos del programa de mantenimiento planeado para hacer más eficiente el desarrollo de sus actividades.

Como el objetivo de este trabajo es mejorar el programa de mantenimiento en cada uno de sus componentes, logrando mantener las condiciones de los equipos y el proceso minimizando costos. El desarrollo de la metodología seguirá los lineamientos de los cinco pasos del mantenimiento planificado en la cultura TPM¹⁶ que se desarrollaran en capítulo 7.

- Paso1: Evaluar el equipo y comprender la situación actual de partida.
- Paso2: Revertir el deterioro y corregir debilidades.
- Paso3: Crear un sistema de gestión de la información.
- Paso4: Crear un sistema de mantenimiento periódico.
- Paso5: Crear un sistema para evaluar el mantenimiento planificado.

¹⁶ SUZUKI. Tokutaro, TPM en industrias de proceso. Pág. 161

6.4. APLICACIÓN DE MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA ESTABLECER UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

A través del diagnóstico inicial se Identificaron y analizaron las variables que afectaban la ejecución del mantenimiento en los equipos del área de confecciones, este procedimiento permitió adoptar un modelo de programación no lineal entera binaria que permite establecer el cronograma de manera que minimice los costos totales incurridos por realizar las actividades de mantenimiento y aumente simultáneamente la confiabilidad de los equipos de producción.

6.5. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO.

El modelo no lineal fue solucionado en el *NEOS SERVER* mediante el programa *KNITRO* con entrada de *AMPL*, del conjunto de solucionadores de programación no-lineal entera-mixta con restricciones no-lineales. Obteniendo la frecuencia de mantenimiento mas adecuada para los equipos del área de confecciones y mejorando la restricción de confiabilidad siendo validada por la gerencia de producción.

6.6. DISEÑOS DE INDICADORES DE GESTIÓN

Mediante la identificación del área problema en este caso el departamento de mantenimiento, se propusieron tres tipos de indicadores (1. Indicador de la gestión del mantenimiento, 2. Indicador de la eficiencia de las actividades de mantenimiento, 3. Indicador de los costos del mantenimiento) que brindan detalles de todos y cada uno de los posibles aspectos a mejorar, siempre bajo una cultura de mejoramiento continuo.

7. DESARROLLO

Figura 5. Estructura del desarrollo de la metodología.

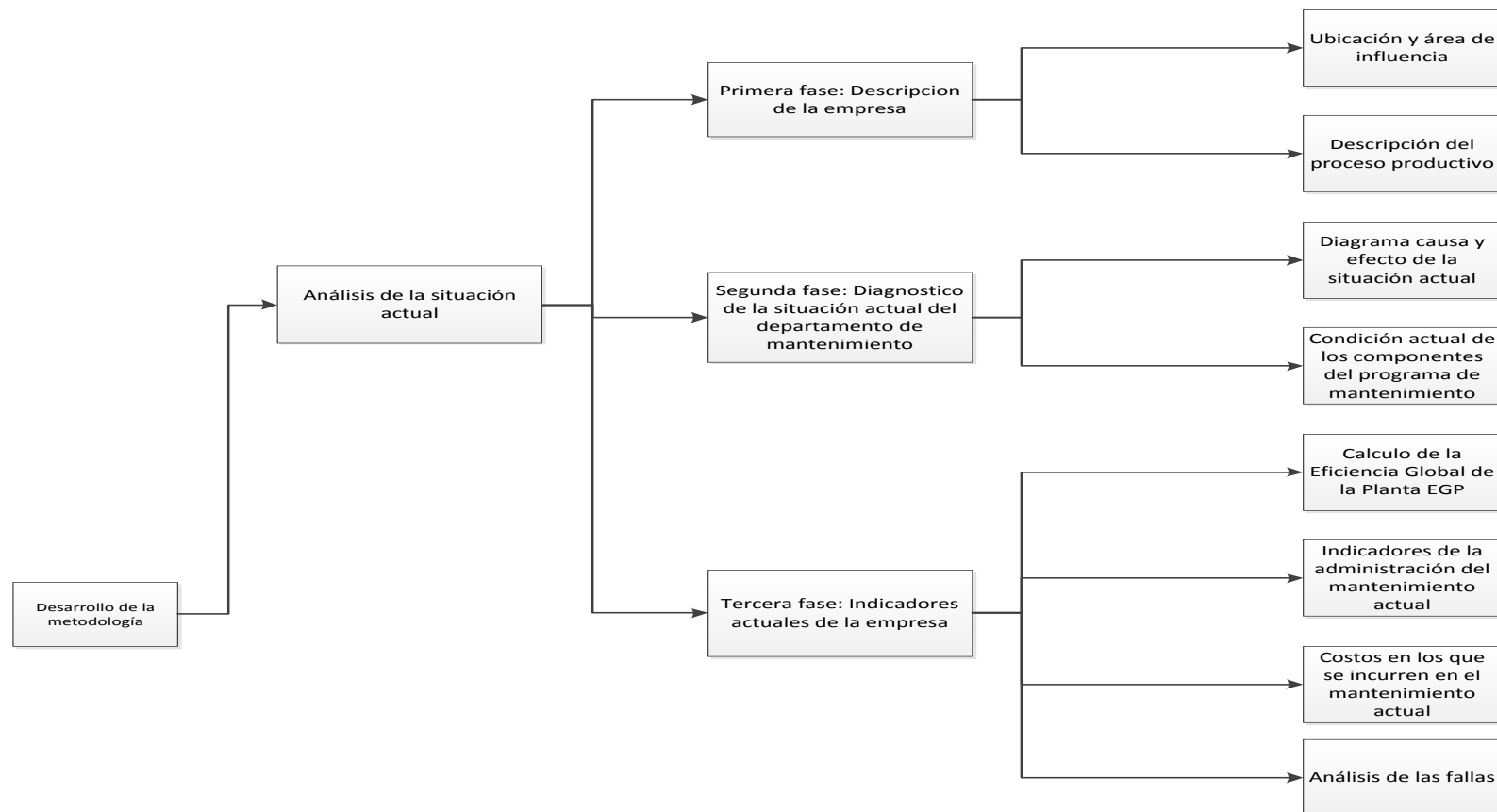
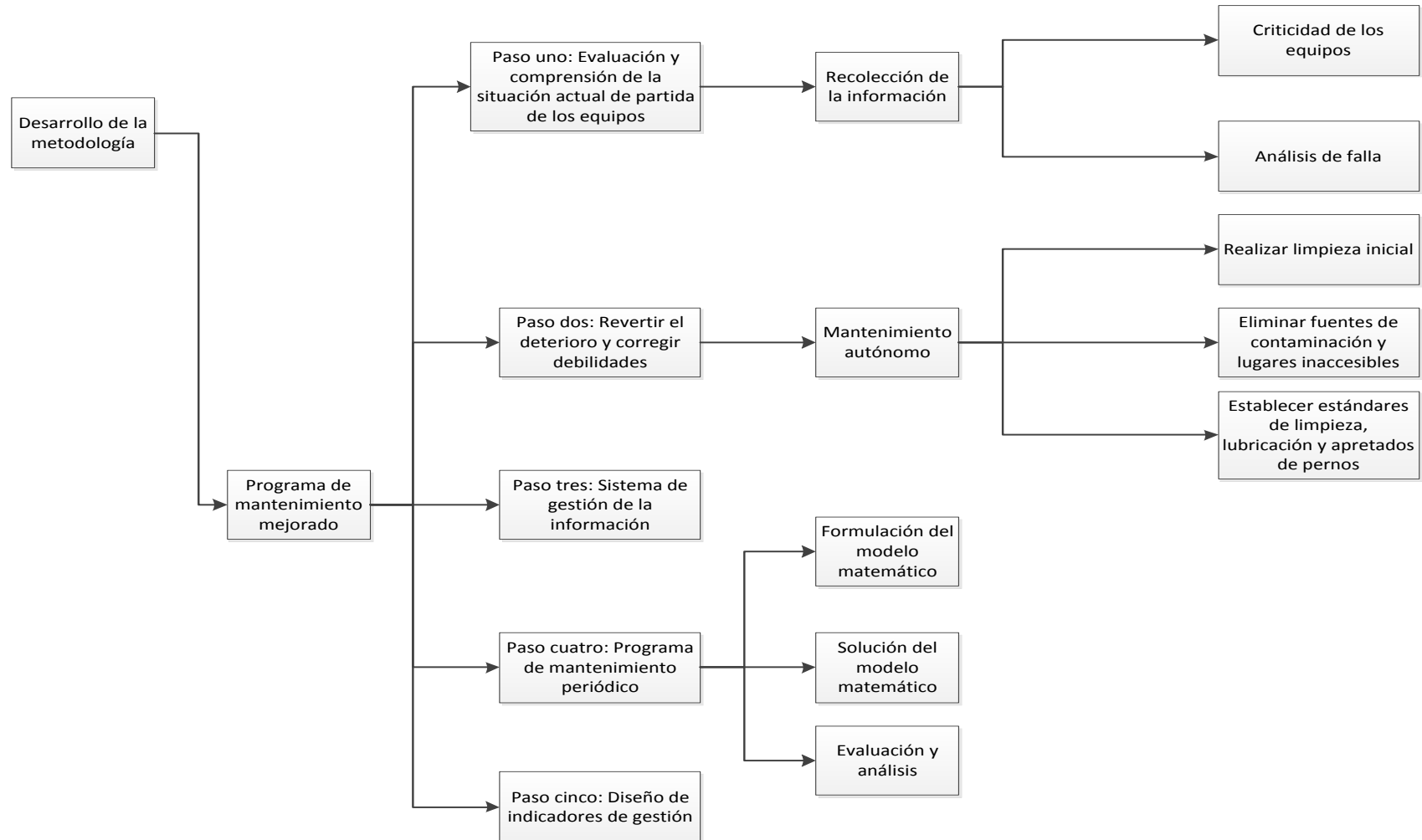


Figura 5. Estructura del desarrollo de la metodología.



Para facilitar la comprensión del desarrollo del proyecto se realizó la figura 5, que se dividen en dos grandes etapas las cuales son, el análisis de la situación actual y el programa de mantenimiento mejorado.

7.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El análisis de la situación actual se realiza en tres etapas, la primera etapa es la descripción de la empresa, la segunda es el diagnóstico de la empresa y el departamento de mantenimiento, y la tercera etapa es la realización de indicadores que permitan conocer más a fondo la problemática.

7.1.1. Primera Fase: Descripción de la empresa

Es una entidad educativa y productiva sin ánimo de lucro que invierte los recursos obtenidos en educación y programas de desarrollo social dirigidos a la comunidad, convirtiéndose así en un gran promotor del desarrollo económico, social y cultural de la región.

Desarrolla sus actividades en El Cerrito, corazón del Valle Geográfico del Río Cauca, en plena zona azucarera situada al suroriente del Departamento del Valle del Cauca-Colombia.

Brinda educación técnica, comercial e industrial a 1.152 estudiantes, contribuyen en la formación integral de jóvenes que constituyen uno de los grupos poblacionales más vulnerables frente al conflicto social y político de Colombia. Además, ofrecen el servicio de educación no-formal para adultos y un servicio de educación informal a través de cursos de capacitación en diversas áreas orientados al aprovechamiento inmediato de las oportunidades.

Confeccionan ropa de trabajo con excelente calidad que permite satisfacer plenamente las necesidades de los clientes nacionales e internacionales, con cumplimiento, buen servicio y precio justo. Cuentan ya con más de 20 años de experiencia elaborando prendas para la dotación industrial dentro de un área de confecciones donde se genera empleo directo a 65 mujeres que, en su mayoría, son madres cabeza de familia.

7.1.1.1. Ubicación y área de influencia

El Centro de Formación Integral Providencia se encuentra certificado en el proceso de confecciones con la norma ISO 9001:2008

Las instalaciones se encuentran estratégicamente ubicadas en el Corregimiento de El Placer, jurisdicción del Municipio de El Cerrito, cerca del Aeropuerto Internacional Alfonso Bonilla Aragón y la ciudad de Santiago de Cali, en el kilómetro 34 sobre la vía que comunica a Buga con el Puerto marítimo de Buenaventura.

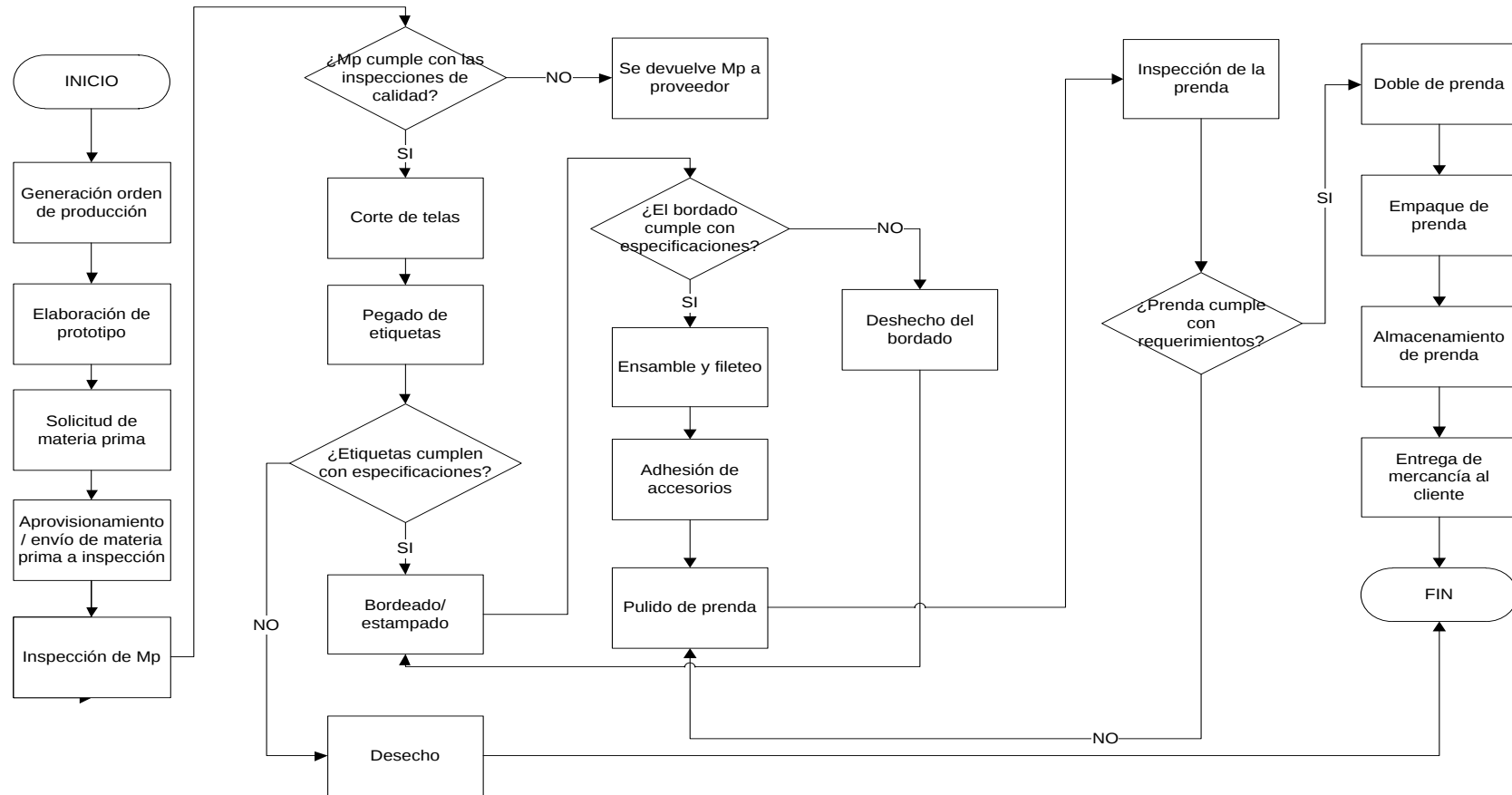
7.1.1.2. Descripción del proceso productivo.

El proceso comienza una vez que se genera una orden de producción, con base en la orden de producción se crea un prototipo de acuerdo a las especificaciones del producto, una vez aprobado se procede a realizar la solicitud de materia prima; en el almacén de materia prima se inspeccionan los materiales y se envían a producción, si no hay existencias del material se realiza el pedido a compras.

La materia prima es transportada al área de corte donde se obtienen las piezas que componen el producto con su geometría definida, dispuestas en paquetes para ser transportadas al área de bordado y estampado para su posterior procesamiento y revisión de calidad, a fin de determinar las no conformidades convirtiéndose en desecho. En caso contrario que las partes se encuentren dentro de la tolerancia de calidad pasan al área de ensamble y fileteo, donde se adhieren los accesorios (botones, ojales), se pule, para finalmente pasar a inspección de la prenda en donde se verifica que cumpla con las especificaciones del prototipo. Si estas no se cumplen la prenda es pulida nuevamente. Si las prendas cumplen con los requerimientos de calidad (revisión de prenda completa) son planchadas, dobladas y se empaican para su posterior almacenamiento y despacho para ser entregadas al cliente final.

A continuación se presenta el diagrama del proceso de producción:

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso confecciones.



Definición: Mp Materia prima.

Fuente: Propia

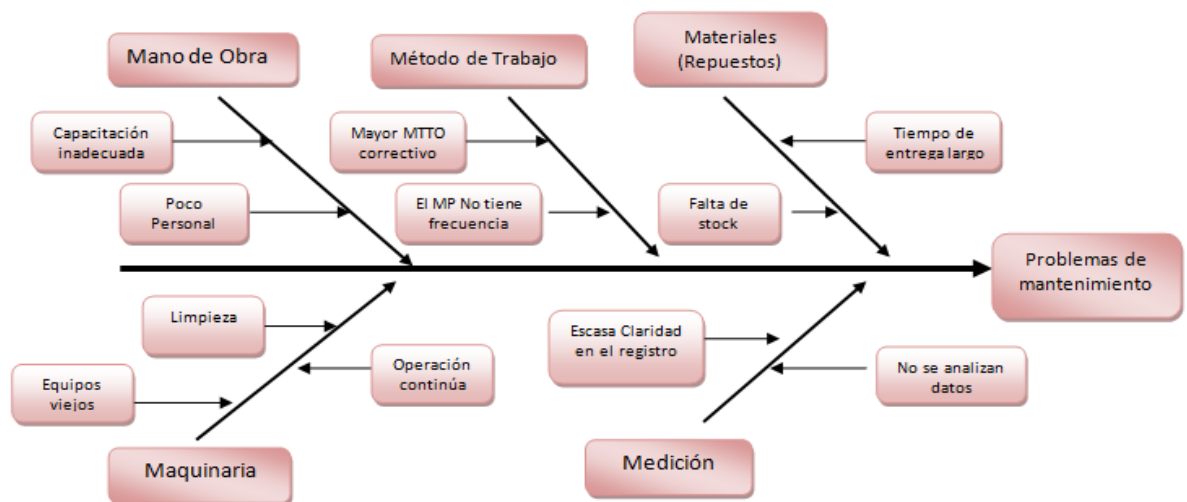
7.1.2. Segunda fase: Diagnóstico de la situación actual del departamento de mantenimiento

Antes de entrar al desarrollo del plan propuesto se realiza un diagnóstico para saber cual es la situación actual del departamento de mantenimiento y con base en el resultado presentar una propuesta de mejora mediante las herramientas existentes de ingeniería que facilitan el diagnostico, generando una visión mas amplia de los problemas del departamento. Uno de estos diagramas es el diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado.

7.1.2.1. Diagrama causa y efecto de la situación actual

Para poder entender mejor la situación actual, se realizó un diagrama de causa y efecto con la colaboración del personal en una reunión. En esta sesión se generó una lluvia de ideas identificando los principales factores que contribuyen al aumento de la problemática por medio de la técnica de los 5 porqués creando el diagrama que se muestra en la figura 7.

Figura 7. Diagrama causa y efecto de la situación actual.



Fuente: Propia

Análisis del diagrama causa y efecto

Mano de Obra:

- Cuenta con una persona que es la encargada de realizar los mantenimientos correctivos, además diligencia los formatos y hace el debido seguimiento a las fallas.
- La persona encargada de mantenimiento solo cuenta con la competencia de realizar la mantención a los equipos registrados como no especiales debido a su formación y experiencia. A los equipos especiales el mantenimiento es realizado por personal externo.

Método de trabajo:

- El mantenimiento preventivo de los equipos es realizado cada seis meses a todas las máquinas sin tener en cuenta una frecuencia de fallos, tipo de máquina o criticidad. Este mantenimiento se demora en promedio dos meses para abarcar el 100% de los equipos de la empresa.
- Durante el resto del año se realizan mantenimiento de carácter correctivo y sin ninguna planeación.

Materia Prima:

- No cuenta con un stock de repuestos dentro de la planta lo que genera un paro de la maquina al momento de una falla.
- El tiempo de entrega de los repuestos comerciales oscila entre dos a tres días y de tres a cuatro semanas si son especiales.

Maquinaria:

- La empresa cuenta con un 80% de su maquinaria es muy antigua y requiere un seguimiento del mantenimiento.
- Los operarios de las maquinas no tienen como cultura terminar su día de trabajo y realizar la debida limpieza al equipo.
- La maquinaria opera de forma continua durante el día y en casos de un aumento en la producción se doblan los turnos.

Medio Ambiente:

- Presentan buenas condiciones y no es considerado una causa del deterioro de los equipos de producción.

Medición:

- Cuenta con registros de fallas, pero no tiene un seguimiento ni análisis de los datos como para realizar un estudio determinando un programa y una frecuencia lógica de mantenimiento.
- Se evidencia la falta de tiempo de la persona encargada, por ello la deficiencia de calidad y veracidad de los registros.

7.1.2.2. Condiciones actuales de los componentes del programa de mantenimiento

Se evaluará los componentes del sistema de mantenimiento actual en el Centro de Formación Integral de Providencia, según el autor Duffuaa Salih, Para determinar una oportunidad de mejora.

Planeación:

- Filosofía del mantenimiento actual en el centro de formación integral de providencia.

En la actualidad la empresa cuenta con un mantenimiento correctivo y un preventivo para las máquinas y equipos de producción en el área de confecciones. Tienen la filosofía de un mantenimiento preventivo con paradas programada, consiste básicamente en un examen completo a la totalidad de los equipos restableciendo sus condiciones, cambiando los componentes que se encuentren en un estado de mayor deterioro.

El mantenimiento correctivo se efectúa en el momento de la falla.

- Pronóstico de la carga de mantenimiento.

No cuenta con una proyección de carga en el mantenimiento, solo se realiza el mantenimiento cada 6 meses al 100% de los equipos por un externo, sin tener en cuenta que dicha carga cambia de forma aleatoria por diversos factores como son por ejemplo la edad de los equipos, el nivel de uso, la calidad del mantenimiento entre otros.

El personal de mantenimiento externo, diseña un plan con base en una revisión de los equipos donde se suministra la información necesaria para el desarrollo de esta actividad. La persona de planta encargada de realizar diariamente la actividad, atiende los mantenimientos de emergencia o correctivo que se presentan, este mantenimiento no cuenta con una planeación.

- Planeación de la capacidad de mantenimiento.

Después de realizada la inspección a los equipos de la planta se suministra la información necesaria donde se determina los recursos para el desarrollo de la actividad de mantenimiento como por ejemplo: los repuestos requeridos para la ejecución del mantenimiento, tiempo necesario para el desarrollo de la actividad, herramientas entre otras.

- Organización del mantenimiento

El centro de formación integral de providencia posee un mantenimiento centralizado que consta básicamente de dos personas el jefe de producción y una persona de mantenimiento. No se permite que los operarios realicen ningún tipo de mantenimiento a los equipos y en algunas ocasiones se presentan falencias en la prestación del servicio ocasionando paros de producción en promedio de 15 min por turno.

- Programación del mantenimiento

Todo el programa de mantenimiento preventivo es realizado por personal externo en el momento que el gerente de producción lo solicite, que generalmente se realiza cada 6 meses. El personal de planta del área de mantenimiento en el centro formación integral de providencia tiene una capacitación limitada en la formación y sólo puede revisar las máquinas que no presenten un sistema muy complejo, además sirve de apoyo al personal externo para el desarrollo del mantenimiento preventivo.

Organización

- Diseño del trabajo:

El jefe de producción le suministra la lista de los equipos de planta a realizar el mantenimiento semestralmente y el personal de mantenimiento externo diseña su plan de trabajo.

- Estándares de tiempo:

El tiempo disponible para el mantenimiento preventivo es de dos meses para la totalidad de los equipos de producción, este mantenimiento se realiza en los horarios de sábados, domingos y festivos donde la planta no se encuentra en funcionamiento.

Control

- **Control de trabajos:**

Las únicas órdenes de trabajo que se realizan son la revisión semestral de los equipos sin priorizar ninguno, no se documentan las instrucciones para el personal contratado de manera externa sobre el trabajo que se va a realizar, la única información que se suministra es por medio de la persona encargada del mantenimiento de forma verbal, expresando las anomalías de cada equipo y solo se recibe de manera tangible la descripción del mantenimiento realizado y recomendaciones de componentes para efectuar el cambio .

En el mantenimiento correctivo tampoco se planea la revisión de los equipos.

- **Control de inventarios:**

Como se había descrito anteriormente después de una revisión a los equipos y con base a lo expresado por la persona de mantenimiento de la planta, se genera una lista de repuestos que se requiere para desarrollar la actividad de mantenimiento preventivo por parte del personal externo, en inventario solo se encuentra los repuestos con más rotación como por ejemplo pies, resortes, dientes, Tornillería. etc.

- **Control de calidad:**

No se cuenta con la documentación necesaria, ni los recursos para realizar el seguimiento al mantenimiento preventivo. Solo se lleva un indicador del cumplimiento en cuanto al mantenimiento realizado semestralmente a todos los equipos.

7.1.3. Tercera fase: Indicadores actuales de la empresa.

A continuación se presentan los indicadores que afectan directamente a la empresa y los que evalúan de forma cuantitativa a la gestión del actual programa de mantenimiento.

7.1.3.1. Cálculo de la eficiencia global de la planta (EGP actual)³⁴

Para conocer la situación y condición de la empresa se calcula la eficiencia global de la planta por medio de datos actuales e históricos suministrado por la empresa, de esta forma observar su comportamiento y falencia que el centro de formación integral esta presentando en la actualidad.

$$\text{EGP} = \text{Disponibilidad} \times \text{Tasa de rendimiento} \times \text{Tasa de calidad}$$

³⁴ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pg. 31

- **Disponibilidad**

Tiempo de Paradas programadas: la empresa cuenta con un mantenimiento planeado cada seis meses que involucra la parada de la producción e incluye todas las maquinas. Este mantenimiento consta de un total de 198 horas / anual.

Tiempo calendario: Es el número de horas del calendario que la empresa labora.

Es decir laboran de Lunes – sábado 10 horas diarias, para un total de 2880h/mensual.

El tiempo de fallos del equipo: Este tiempo se calcula un promedio de 15 h/mes aproximadamente registradas en los formatos (anexo A). Que componen la documentación del sistema Gestión de Calidad en el área de mantenimiento.

Con estos datos se calcula la disponibilidad o tiempo de operación expresado como porcentaje del 2011.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{t_{\text{calendario}} - (t_{\text{paradas programadas}} + t_{\text{fallos de equipos o proceso}}) \times 100 (\%)}{t_{\text{calendario}}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{2880 \frac{h}{\text{anuales}} - \left(160 \frac{h}{\text{anuales}} + 232 \frac{h}{\text{anuales}} \right)}{2880 \frac{h}{\text{anuales}}} = 0,864 \times 100 = 86,4\%$$

Esto quiere decir que la planta en el 2011 tuvo un tiempo de operación para producir de la instalación de un 86,4%.

- **Tasa de rendimiento**³⁵

Para conocer la tasa de rendimiento de la planta se divide la tasa de producción real sobre la tasa de producción que fue diseñada la planta de acuerdo a su capacidad máxima.

³⁵ SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso pg. 3

Tabla 5. Indicador de producción

Mes	Prendas producidas (real mes)	Proyección mensual (No de prendas/ mensual)	FORMULA TASA DE RENDIMIENTO
Ene	44.055	51.000	$\frac{\text{tasa media de produccion actual } (\frac{\text{prendas}}{\text{mes}})}{\text{tasa estandar de produccion } (\frac{\text{prendas}}{\text{mes}})}$
Feb	33.637	51.000	
Mar	40.250	51.000	
Abr	21.626	51.000	
May	33.345	51.000	
Jun	21.193	51.000	
Jul	32.814	51.000	
Agos	36.585	51.000	
Sept	33.157	51.000	
Oct	45.133	51.000	
Nov	44.352	51.000	
Dic	40.995	51.000	
TOTAL	427.149	51.000	
Promedio prendas	35.596	51.000	

Fuente: Propia

$$\text{Tasa de rendimiento} = \frac{35.595,75 (\frac{\text{prendas}}{\text{mes}})}{51.000 (\frac{\text{prendas}}{\text{mes}})} = 0,698 \times 100 = 69,8 \%$$

Siendo una de las causas de pérdida de la eficiencia mayor debido a los tiempos previstos e imprevistos durante la operación. Los tiempos previstos forman parte de la programación de la planta, Los tiempos imprevistos son la más grave pérdida de eficiencia: El estado de la instalación, su método de operación y la formación del personal.

Este indicador es el más bajo en comparación con los otros dos indicadores que integran el cálculo de la eficiencia global de la empresa, debido a los tiempos de alistamiento que se generan en una producción flexible como es la producción en el sector de confecciones.

- **Tasa de calidad**

Para evaluar la tasa de calidad se recolectaron datos del reproceso de la producción y los defectos de calidad por medio de indicadores de gestión.

Defectos de calidad: se evalúan aspectos como el tallaje de las prendas producidas respecto a la solicitud del cliente, calidad de estampado, error en confecciones, error en medidas.

Reproceso: En este indicador se evalúan aspectos como calidad de costura en producto terminado, pretina doblada, producto terminado sucio, puño o cuellos zafados, pasador dañado entre otras.

$$\text{Tasa de calidad} = \frac{\text{volumen de produccion} - (\text{defectos de calidad} + \text{reprocesos})}{\text{volumen de produccion}} \times 100(\%)$$

$$\text{Tasa de calidad} = \frac{40.995 \text{ prendas/mes} - (2386 \frac{\text{prendas}}{\text{mes}} + 3646 \frac{\text{prendas}}{\text{mes}})}{40.995 \text{ prendas/mes}} \times 100(\%)$$

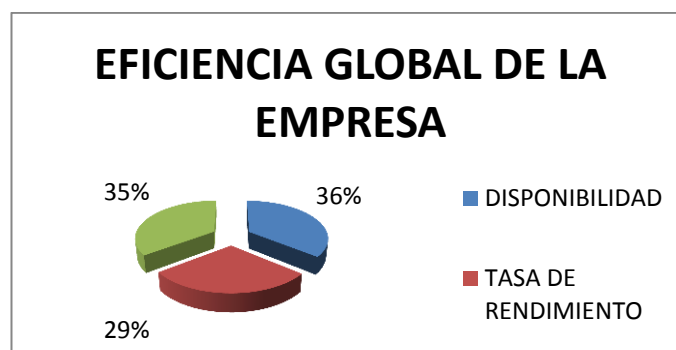
$$\text{Tasa de calidad} = 0.85 \times 100(\%) = 85,3\%$$

De acuerdo a los anteriores resultados, se puede calcular LA EFICIENCIA TOTAL de la planta por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{EGP} = \text{Disponibilidad} \times \text{Tasa de rendimiento} \times \text{Tasa de calidad}$$

$$\text{EGP} = 0,868 \times 0,698 \times 0,853 = 0,529 \times 100 = \mathbf{51,6\%}$$

Figura 8. Eficiencia Global de la Empresa



Fuente: Propia

De acuerdo a los valores de World Class,³⁶ el EGP permite clasificar una o más líneas de producción, o toda una planta, con respecto a las mejores empresas de su clase que ya han alcanzado el nivel de excelencia. De esta manera se tiene la siguiente clasificación:

1. EGP < 65% Inaceptable. Se producen importantes pérdidas económicas.
2. 65% < EGP < 75% Regular. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.

³⁶ World Class Manufacturing: Conjunto de empresas de clase mundial reunidas para diseñar y fomentar principios, políticas y técnicas para la mejora de gestión de la industria manufacturera.

3. 75% < EGP < 85% Aceptable. Continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.

4. 85% < EGP < 95% Buena. Entra en Valores World Class. Buena competitividad.

5. EGP > 95% Excelencia. Valores World Class. Excelente competitividad.

De acuerdo a esta clasificación de EGP, se puede observar que la empresa centro de formación providencia tiene problemas con su proceso y poca competitividad en el mercado.

7.1.3.2. Indicadores de la administración del mantenimiento actual

Los indicadores de la administración del mantenimiento evalúan la gestión del programa actual desde el punto de vista económica.

Tabla 6. Indicadores del mantenimiento

INDICADORES DE LA GESTION ACTUAL DE MANTENIMIENTO		
Indicador	Formula	Diagnostico
Horas subcontratadas por mes	$\frac{448 \text{ h subcontratadas totales trabajadas}}{3100 \text{ h totales trabajadas}} \%$ = 14,5 %	Se encuentra que el 14,5% de las horas pertenecen a la subcontratación en el año, cabe resaltar que este mismo porcentaje es el de mantenimiento preventivo, debido a que son contratados exclusivamente para realizar esta labor.
Ordenes de trabajos planeados y programado diariamente	$\frac{\text{Ordenes de trabajo planeadas y programada}}{\text{Ordenes de trabajos totales y ejecutadas}} \%$	Solo cuenta con una orden de trabajo, y es la realizada por personal externo. Realizada cada 6 meses.

Fuente: Propia

De los anteriores indicadores podemos inferir que existen oportunidades de mejora en la línea de producción, en especial en el aprovechamiento del tiempo en producción.

7.1.3.3. Costos en los que se incurren en el mantenimiento actualmente

Se evalúan los costos del área de confecciones con respecto a los costo del mantenimiento que se generan por la manutención de las maquinas que intervienen en el proceso.

Esta área mide los gastos asociados a la gestión de mantenimiento, como son distribuidos y si están direccionados a mejorar la eficiencia de la empresa.

Estos indicadores son:

- **Costo de mantenimiento por unidad de producción**

Tabla 7. Costo de mantenimiento por unidad de producción

	COSTO TOTAL DE MTTO	TOTAL UNID PROD	FORMULA	COSTO MTTO/UND
Ene	\$ 200.000	44.055	$\frac{\text{Costo total de MTTO}}{\text{total unidad de produccion}}$	\$ 4,54
Feb	\$ 3.879.000	33.637		\$ 100,45
Mar	\$ 3.879.000	40.257		\$ 83,94
Abr	\$ 150.000	21.626		\$ 6,94
May	\$ 80.000	33.345		\$ 2,40
Jun	\$ 180.000	21.193		\$ 8,49
Jul	\$ 60.000	32.814		\$ 1,83
Agos	\$ 3.879.000	36.585		\$ 92,36
Sept	\$ 3.879.000	33.157		\$ 101,91
Oct	\$ 120.000	45.133		\$ 2,66
Nov	\$ 50.000	44.352		\$ 1,13
Dic	\$ 90.000	40.995		\$ 2,20
TOTAL	\$16.446.000	427.149		\$ 33,82

Fuente: Propia

En la tabla 7. En la que se relaciona los costos de mantenimiento por las unidades producidas se evidencia los meses de (febrero, marzo, agosto y septiembre) los más costoso en cuanto al mantenimiento de los equipos, esto se debe a que en estos meses se realizan tanto el mantenimiento preventivo como los correctivos que se presenten.

- **Costo de mantenimiento subcontratado**

Costo de mantenimiento Subcontratados =
$$\frac{\text{Costo de subcontratacion (fuerza laboral)}}{\text{Costo directos de mantenimiento}} \times 100$$

$$\text{Costo de mantenimiento} = \frac{\$ 13.516.000 \text{ pesos en subcontratacion}}{\$ 14.446.000 \text{ pesos total de mantenimiento}} \times 100$$

Subcontratados

- **Costo de mantenimiento subcontratado = 93,6** es el costo del mantenimiento subcontratado debido a que es el mantenimiento preventivo realizado anualmente a las maquinas.
- **Relación de los costos de mantenimiento vs costos de producción**

Tabla 8. Costos de mantenimiento vs costos de producción.

	PRODUCCION	COSTO DE LA PRODUCCION	FORMULA	COSTOS DE MTTO
Ene	\$ 316.608.723	\$ 253.286.978		\$ 200.000
Feb	\$ 433.371.571	\$ 346.697.257		\$ 3.879.000
Mar	\$ 639.654.627	\$ 511.723.702		\$ 3.879.000
Abr	\$ 672.428.195	\$ 537.942.556	$\frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{costo total de produccion}} \times 100$	\$ 150.000
May	\$ 494.639.308	\$ 395.711.446		\$ 80.000
Jun	\$ 351.692.443	\$ 281.353.954		\$ 180.000
Jul	\$ 433.807.078	\$ 347.045.662		\$ 60.000
Agos	\$ 567.600.102	\$ 454.080.082		\$ 3.879.000
Sept	\$ 397.516.265	\$ 318.013.012		\$ 3.879.000
Oct	\$ 281.017.662	\$ 224.814.130		\$ 120.000
Nov	\$ 443.437.259	\$ 354.749.807		\$ 50.000
Dic	\$ 734.523.230	\$ 587.618.584		\$ 90.000
TOTAL		\$ 4.613.037.170		\$16.446.000

Fuente: Propia

$$\text{Relación} = \frac{16.446.000}{4.613.037.170} \times 100 = 0,4\%$$

En la tabla 8. Nos indica que en el Centro de Formación Integral Providencia del costo total de la producción el 0,4% pertenece al costo de mantenimiento, la empresa presenta una participación significativa de los costos de mantenimiento frente a los costos de producción.

7.1.3.4. Estratificación de fallas

Dentro del diagnostico de averías es necesario analizar la información de disponibilidad de los equipos de producción, para identificar causas y acciones correctivas. Para ello se realiza un diagrama de Pareto.

El diagrama de pareto se efectuó, mediante la selección de las fallas de los equipos de la planta en el primer semestre del 2011, su frecuencia y el costo en el que se incurre cuando se presentan.

Tabla 9. Pareto de la clasificación de las fallas

CLASIFICACION DELAS FALLAS (Ene - Jun/ 2011)						
COD	FALLAS	FRECUENCIAS	COSTO	COSTO TOTAL	ACUMULADO	
1	Daños en motor	4	\$ 60.000	\$ 240.000	35,82%	36%
2	Acoplamiento mal alineado	12	\$ 9.000	\$ 108.000	16,12%	52%
3	cambio de cuchillas	2	\$ 50.000	\$ 100.000	14,92%	67%
4	Arreglo del devanador	4	\$ 15.000	\$ 60.000	8,95%	76%
5	Dientes desgastados, dañados.	3	\$ 12.000	\$ 36.000	5,37%	81%
6	cuadre de arraste	9	\$ 3.300	\$ 29.700	4,43%	86%
7	arreglo del folders	2	\$ 10.000	\$ 20.000	2,98%	89%
8	cuadre de gancho	6	\$ 3.000	\$ 18.000	2,69%	91%
9	Desalineamiento	5	\$ 3.300	\$ 16.500	2,46%	94%
10	Daños en el cableado electrico	3	\$ 5.000	\$ 15.000	2,24%	96%
11	Desgaste en correas o poleas	1	\$ 8.000	\$ 8.000	1,19%	97%
12	Falta de lubricacion	1	\$ 3.300	\$ 3.300	0,49%	98%
13	Fugas de fluido	1	\$ 3.300	\$ 3.300	0,49%	98%
14	arreglo de pedal	1	\$ 3.300	\$ 3.300	0,49%	99%
15	Desajuste de pernos	3	\$ 1.000	\$ 3.000	0,45%	99%
16	planchuela mal estado	1	\$ 3.000	\$ 3.000	0,45%	100%
17	Faltan algunos pernos	1	\$ 1.000	\$ 1.000	0,15%	100%
18	Sobresalen pernos del equipo	1	\$ 1.000	\$ 1.000	0,15%	100%
19	Desajuste de poleas	1	\$ 1.000	\$ 1.000	0,15%	100%
				\$ 670.100		

Fuente: Propia.

Según la tabla 9. Los daños en el motor representan los mayores costos de reparación junto con los acoples mal alineados “rodamientos”. Constituyendo el 20% de las fallas y el 52% de los costos de reparación.

Los equipos presentan este tipo de fallos en sus motores, debido a la cantidad de material remanente del proceso de producción que se introduce en los engranajes y rodamientos causando un sobre esfuerzo al sistema. Esta problemática aumenta a causa de la falta de limpieza y lubricación de los componentes en el equipo.

7.2. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MEJORADO

El programa de mantenimiento mejorado se realiza con base en la evaluación de los equipos, permitiendo conocer y corregir las debilidades para revertir el deterioro, ajustando de esta manera el programa de mantenimiento periódico y creando un sistema para evaluar el mantenimiento planificado.

7.2.1. Paso uno: Evaluar y comprender la situación actual de partida de los equipos de producción

En la primera fase del programa se propondrá una metodología que permite jerarquizar los equipos, en función de su impacto global con el fin de facilitar la toma de decisiones y administración de los recursos, enfocando esfuerzos

hacia los equipos más importantes o necesarios para mejorar la confiabilidad operacional.

7.2.1.1. Recolección de la información

El proceso de recabar la información, se dividió en dos fases: la primera, corresponde a la recolección de la información básica de los equipos de producción del área de confecciones, desarrollando el primer paso de la metodología del mantenimiento planificado, la segunda etapa, corresponde a la recolección de la información del número de fallos de los equipos de producción en el periodo enero – junio 2011, para adaptar el programa de mantenimiento al tipo de fallos presentados en los equipos de producción.

El Centro de Formación Integral de Providencia Área Confecciones cuenta con 144 activos en total para el proceso de producción los cuales se clasifican según los siguientes criterios:

Tabla 10. Criterios de evaluación para priorizar los equipos.

CRITERIO	DEFINICIÓN	CALIFICACIÓN
Efecto sobre el servicio que proporciona.	Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla	0 = No para, no afecta ni altera el proceso, 2 = Reduce el proceso, cuando se afecta el proceso pero se tiene una maquina sustituta. 4 = Para el proceso, en forma muy considerable hasta el nivel de pararlo en su totalidad
Valor técnico económico.	En esta calificación se evalúa el costo del repuesto que se necesita para realizar el mantenimiento	4 = cuando el repuesto cuesta aproximadamente \$ 450.000 o más. 2 = Cuando el repuesto cuesta aproximadamente \$ 150.000. 1 = cuando el repuesto cuesta \$20.000.
La falla afecta.	En este criterio se analiza el efecto, más que a la falla de la maquina.	0 = si la falla no afecta al producto, al proceso, o a la seguridad. 1 = si la falla afecta directamente.
Disposición técnica.	se analiza si el soporte técnico es externo o interno	0 = si es personal interno 2 = si es personal externo
Frecuencia de fallos.	Se evalúa si la maquina presenta un evento de falla.	0 = si la frecuencia es baja (una vez por mes o no presenta falla durante el periodo) 1 = Si la frecuencia es alta. (2 veces o más por mes). Este criterio se adopto por sugerencia de la empresa.

La calificación se realizó de manera conjunta con la administración y la información del valor económico es suministrada por la empresa.

Tabla 11. Valor de criterio

A CRITICA		15-10	VALOR ECONOMICO	
B SEMICRITICA		09-08	ALTO	\$450.000
C RESTO DE LA PLANTA		07- 00	MEDIO	\$150.000
			BAJO	\$ 20.000

- **Criticidad de los equipos**

En la tabla No 12. “criticidad de equipos en la planta” pág. 60. Se presentan los criterios que la empresa Centro de Formación Integral Providencia utiliza para evaluar los equipos que intervienen en el proceso productivo en el área de confecciones.

Resultado: El resultado de la tabla 13 pág. 66. Se obtiene mediante la suma de cada uno de los criterios por ejemplo:

Maquina de Ojaladora = se suma cada uno de los criterios de cuerdo a la calificación que se les asigno (efecto sobre el servicio + valor técnico económico + la falla + disposición técnica + frecuencia de fallos).

Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta

1. EQUIPOS EN LA PLANTA		Efecto Sobre el Servicio que Proporciona			Valor Técnico Económico			La Falla Afecta						Disposición Técnica		Frecuencia de Fallos		TOTAL
COD	Nombre del Equipo	Para	Reduce	No para	Alto	Medio	Bajo	Proceso		Producto		Seguridad		Externa	Interna	Alta	Baja	
		4	2	0	4	2	1	Si	no	si	no	si	no	2	0	2	0	
868	Maquina Ojaladora	4				2	1	1				0	1	0	2		2	12
871	Maquina dos agujas		2				1	1				0		0		0	2	6
872	Maquina dos agujas		2				1	1				0		0		0	2	6
873	Maquina dos agujas		2				1	1				0		0		0	2	6
874	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
876	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
879	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
880	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
881	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
884	Maquina dos agujas		2				1	1				0		0		0	2	6
885	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
887	Maquina Cerradora de Codos	4				2		1		1				0		0	2	9
888	Maquina Empletinadora	4				2		1		1				0		0	0	8
889	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
890	Maquina Fileteadora		2			2		1				0		0		0	2	7
893	Maquina Ojaladora		2			2		1				0		0		0	0	5
895	Maquina Enresortadora	4				2	1			1				0		0	0	8
896	Maquina Ribeteadora	4				2		1		1				0		0	0	8
897	Maquina Plana		2				1	1				0		0		0	0	4
898	Maquina Plana		2				1	1				0		0			0	4
901	Maquina Cerradora de codos			0		2		1				0		0		0	0	3
902	Maquina Plana		2				1	1				0		0	0		0	4
903	Maquina Plana		2				1	1				0		0	0		0	4

Fuente: Propia

Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta

2. EQUIPOS EN LA PLANTA		Efecto Sobre el Servicio que Proporciona			Valor Técnico Económico			La Falla Afecta						Disposición Técnica		Frecuencia de Fallos		TOTAL
COD	Nombre del Equipo	Para	Reduce	No para	Alto	Medio	Bajo	Proceso		Producto		Seguridad		Externa	Interna	Alta	Baja	
		4	2	0	4	2	1	Si	no	si	no	si	no	2	0	2	0	
904	Chuzo para voltear puños y cuellos	4					1	1		1	0	0	0		0		0	6
905	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0	2		6
906	Filete adora		2			2		1			0	0			0		0	5
908	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
909	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
910	Maquina Collarín		2			2		1			0	0			0		0	5
911	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
912	Fileteadora		2			2		1			0	0			0	2		6
913	Troquel para pegar boton y taches		2			2		1			0	0			0		0	5
914	Esmeril	4					1	1			0	0			0		0	6
952	Cosedora Dobladora	4				2		1			0	0			0	2		9
956	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
959	Fileteadora		2					1			0	0			0	2		7
961	Maquina Collarín		2			2		1			0	0			0		0	5
962	Fileteadora		2			2		1				0			0	2		7
964	Maquina Dos Aguja		2				1	1			0	0			0	2		6
965	Maquina Dos Aguja		2				1	1			0	0			0	2		6
967	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
968	Maquina Dos Aguja		2				1	1			0	0			0	2		6
969	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
970	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
971	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
972	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
973	Maquina Plana		2				1	1			0	0			0		0	4
976	Fileteadora		2			2		1			0	0			0	2		7
981	Maquina Dos Aguja		2				1	1			0	0			0	2		6
986	Termofijadora	4			4			1			0	0			0	2		11

Fuente: Propia

Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta

3.	EQUIPOS EN LA PLANTA	Efecto Sobre el Servicio que Proporciona			Valor Técnico Económico			La Falla Afecta						Disposición Técnica		Frecuencia de Fallos		TOTAL
COD	Nombre del Equipo	Para	Reduce	No para	Alto	Medio	Bajo	Proceso		Producto		Seguridad		Externa	Interna	Alta	Baja	
		4	2	0	4	2	1	Si	no	si	no	si	no					
991	Troquel para pegar Boton y Taches	4					1	1		0		0		2	0	2	0	6
992	Troquel para pegar Boton y Taches	4					1	1		0		0			0		0	6
1066	Fileteadora					2		1		0		0			0	2		5
1067	Fileteadora					2		1		0		0			0	2		5
1068	Maquina Dos Agujas						1	1		0		0			0	2		4
1069	Botonadora					2		1		0		0			0		0	3
1070	Maquina Fusionadora	4				2		1		0		0		1		2		11
1071	Maquina Cerradora de Codos	4				2		1		0		0			0		0	7
1072	Presilladora		2		4			1		0		0		1		2		11
1073	Cono para Asentar Cuello	4				2		1		0		0			0		0	7
1074	Chuzo para voltear Puños y Cuellos		2				1	1		0		0			0		0	4
1076	Cortadora de Extremos		2			2		1		0		0			0		0	5
1077	Revisor de Camisas			0			1	1		0		0		1		2		6
1078	Cortadora Vertical		2			2		1		0		0		0	0		0	5
1079	Maquina Cortadora de Tela Vertical de 8"		2			2		1		0		0		0	0		0	5
1080	Plancha Industrial		2				1	1		0		0		0	0	2		6
1081	Fileteadora		2			2		1		0		0		0		2		7
1082	Fileteadora		2			2		1		0		0		0		2		7
1083	Fileteadora		2			2		1		0		0		0		2		7
1084	Maquina Plana		2				1	1		0		0		0			0	4
1085	Maquina Plana		2				1	1		0		0		0			0	4
1086	Maquina Plana		2				1	1		0		0		0			0	4

Fuente: Propia

Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta

4. EQUIPOS EN LA PLANTA		Efecto Sobre el Servicio que Proporciona			Valor Técnico Económico			La Falla Afecta						Disposición Técnica		Frecuencia de Fallos		TOTAL
COD	Nombre del Equipo	Para	Reduce	No para	Alto	Medio	Bajo	Proceso		Producto		Seguridad		Externa	Interna	Alta	Baja	
		4	2	0	4	2	1	Si	no	si	no	si	no	2	0	2	0	
1087	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1088	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1089	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1090	Maquina Dos Agujas		2				1	1				0	0		0	2		6
1092	Tiqueteadora		2				1	1				0	0	2			0	6
1093	Tiqueteadora		2				1	1				0	0	2			0	6
1096	Aspiradora	4				2		1				0	0		0		0	6
1097	Maquina Familiar			0			1	1				0	0		0		0	2
1098	Perforador Electrico		2			2		1				0	0		0		0	4
1099	Maquina Cerradora de Codos	4				1	1	1				0	0		0	2		8
1100	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1101	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1102	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1103	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1104	Maquina Dos Agujas		2				1	1				0	0		0	2		6
1105	Maquina Dos Agujas		2				1	1				0	0		0	2		6
1106	Maquina Fileteadora		2			2		1				0	0		0	2		7
1107	Maquina Fileteadora		2			2		1				0	0		0	2		7
1108	Maquina Fileteadora		2			2		1				0	0		0	2		7
1109	Maquina Ojaladora	4				2		1				0	0		0		0	7
1110	Cortadora vertical		2			2		1				0	0		0		0	5
1111	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1112	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1113	Soplador			0		2		1				0	0		0		0	3
1114	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1115	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1116	Maquina Dos Agujas		2				1	1				0	0		0	2		6
1117	Maquina Botonadora		2			2		1				0	0		0		0	5
1118	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4

Fuente: Propia

Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta

5. EQUIPOS EN LA PLANTA		Efecto Sobre el Servicio que Proporciona			Valor Técnico Económico			La Falla Afecta						Disposición Técnica		Frecuencia de Fallos		TOTAL
COD	Nombre del Equipo	Para	Reduce	No para	Alto	Medio	Bajo	Proceso		Producto		Seguridad		Externa	Interna	Alta	Baja	
		4	2	0	4	2	1	Si	no	si	no	si	no					
1119	Maquina Empretinadora		2			2	1	1	0	1	0	1	0	2	0	2	0	5
1120	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1121	Secado Modelo HC		2			2		1				0	0	2			0	7
1122	Secado Modelo HC		2			2		1				0	0	2			0	7
1123	Secado Modelo HC		2			2		1				0	0	2			0	7
1124	Secado Modelo HC		2			2		1				0	0	2			0	7
1125	Secado Modelo HC		2			2		1				0	0	2			0	7
1126	Termo-fijadora	4				2		1				0	0	2			0	9
1127	Cortadora Extremo		2			2		1				0	0		0		0	5
1128	Tiqueteadora		2			2		1				0	0	2			0	7
1129	Maquina Enconadora de Hilo		2		4			1				0	0		0		0	7
	Prensa		2				1	1				0	0		0		0	4
	(2) Planchas		2				1	1				0	0		0		0	4
1218	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1219	Maquina Collarin		2			2		1				0	0		0		0	5
1221	Maquina Plana		2				1	1				0	0		0		0	4
1223	Maquina Sesgadora de Mangas	4				2		1				0	0		0		0	7
1642	Maquina Presilladora electrica		2			2		1				0	0	2		2		9
1643	Tiqueteadora Metto		2				1	1				0	0	2			0	6
1644	Tiqueteadora Metto		2				1	1				0	0	2			0	6
1645	Secador Industrial		2			2		1				0	0	2			0	7
1701	Maquina Collarin		2			2		1				0	0		0		0	5

Fuente: Propia

Tabla 12. Criticidad de equipos en la planta

6. EQUIPOS EN LA PLANTA		Efecto Sobre el Servicio que Proporciona			Valor Técnico Económico			La Falla Afecta						Disposición Técnica		Frecuencia de Fallos		TOTAL
COD	Nombre del Equipo	Para	Reduce	No para	Alto	Medio	Bajo	Proceso		Producto		Seguridad		Externa	Interna	Alta	Baja	
		4	2	0	4	2	1	Si	no	si	no	si	no					
	<u>Desmanchadora</u>	4					1	1		0	1	0	0	2	0	2	0	7
1777	Maquina Dos Aguas		2				1	1		0		0			0		0	4
1778	Maquina Dos Aguas		2				1	1		0		0			0	2		6
1779	Maquina Cortadora Manual		2				1	1		0		0			0	2		6
1763	Plancha a Vapor		2				1	1		0		0			0	2		6
1762	Plancha a Vapor		2				1	1		0		0			0	2		6
1738	Maquina Cortadora de Extremos		2			2		1		0		0			0	2		7
1737	Cortadora Vertical		2			2		1		0		0			0		0	5
1768	Maquina Dos Aguas		2				1	1		0		0			0		0	4
1767	<u>Fileteadora</u>		2			2		1		0		0			0	2		7
1766	<u>Fileteadora</u>		2			2		1		0		0			0	2		7
1776	Secador Industrial		2				1	1		0		0		2			0	6
1761	Maquina Bordadora	4				2		1		0		0		2			0	9
1751	<u>Impresora Plotter</u>	4			4			1		0		0		2			0	11
1752	Dispensador de Agua		2				1	1		0		0			0		0	4
1747	Taladro Industrial		2			2		1		0		0			0		0	5
1949	Secador Industrial		2			2		1		0		0		2			0	7
	Soplador Industrial		2				1	1		0		0			0		0	4
	Soplador Industrial		2				1	1		0		0			0		0	4
	<u>Tiqueteadora</u>		2				1	1		0		0		2			0	6

Fuente: Propia

De la Tabla 12. “críticidad de equipos en la planta”. Se obtienen el resultado de los equipos más críticos y semi-críticos con las que se va a trabajar en este proyecto contando con un total de 14 equipos, resumidos en la tabla 13.

Tabla 13. Maquinas crítica

CODIGO	MAQUINAS	CALIFICACION	CRITICIDAD
868	Maquina Ojaladora	12	CRITICA
887	Maquina Cerradora de codos	9	SEMICRITICA
888	Maquina Empretinadora	8	SEMICRITICA
895	Maquina En-resortadora	8	SEMICRITICA
896	Maquina Ribeteadora	8	SEMICRITICA
952	Maquina Dobladilladora	9	SEMICRITICA
986	Maquina Termofijadora	11	CRITICA
1071	Maquina Fusionadora	11	CRITICA
1072	Maquina Presilladora	11	CRITICA
1099	Maquina Cerradora de codos	8	SEMICRITICA
1126	Maquina Termofijadora	9	SEMICRITICA
1642	Maquina Presilladora eléctrica	9	SEMICRITICA
1761	Maquina Bordadora	11	CRITICA
1751	Impresora Plotter	9	SEMICRITICA

Fuente: Propia

- **Análisis de la distribución del tiempo entre fallos**

En la segunda fase Para lograr comprender la situación actual de los equipos anteriormente seleccionados como críticos y semi-críticos, se realiza el análisis de las fallas, su frecuencia, su distribución, permitiendo de esta manera el diseño posterior de un modelo matemático para programar los periodos de inspección y mantenimiento de los equipos teniendo en cuenta los costos a incurrir.

Del historial de los equipos de producción críticos y semi-críticos, se tiene el tiempo sin fallas en los meses de enero – junio 2011, mostrada en la tabla 14. Cabe destacar que se han considerado un conjunto de observaciones debido a la poca información manejada por la empresa.

Tabla 14. Tiempo de un grupo de equipos sin fallos en el periodo Enero – Junio 2011.

Falla i.	Vida (días) Equipos	Falla i.	Vida (días) Equipos	Falla i.	Vida (días) Equipos	Falla i.	Vida (días) Equipos
1.	24	8	48	15	72	22	216
2.	24	9	72	16	96	23	216
3.	24	10	72	17	96	24	240
4.	48	11	72	18	120	25	648
5.	48	12	72	19	144	26	720
6.	48	13	72	20	144		
7.	48	14	72	21	144		

Fuente: Propia

Procesamiento y análisis de la información.

Para estimar el tiempo medio entre fallas (MTBF), la confiabilidad y la tasa de fallas es necesario suponer, en primera instancia, que las observaciones siguen alguna distribución de probabilidades conocida y luego verificar si la cumple por medio de un test de comprobación estadístico.

En este caso se consideró una distribución de Weibull, con parámetros γ , β y η a determinar.

β = Es el parámetro de forma de la distribución Weibull, relaciona el periodo de tiempo en que se encuentra operando el equipo y el comportamiento del mismo ante la probabilidad de ocurrencia de fallas.

η = parámetro de escala, vida característica del equipo (relacionada con el MTTF). Tiempo medio de operación entre fallas del equipo.

γ = Parámetro de localización, el valor garantizado es decir la vida mínima del equipo.

Para iniciar el ajuste, se considera en primer lugar que el valor de α es igual a 0. Una vez hecho esto, se realiza el ajuste obteniendo un $\gamma = 0,17$ generando los datos de la tabla 15. Por medio de regresión lineal de mínimos cuadrados.

Tabla 15. Datos del modelo Weibull, con un $\gamma = 0,17$

rango	vida (h)	Rm (F (t))	Xi [Ln(t-*)	Yi [Ln[Ln(1/1-F(t-*))]]
1	24	0,0263	1,26732391	-3,624609459
2	24	0,0637	1,26732391	-2,720569229
3	24	0,1015	1,26732391	-2,234387028
4	48	0,1394	3,31605103	-1,89611022
5	48	0,1774	3,31605103	-1,633600578
6	48	0,2153	3,31605103	-1,416974027
7	48	0,2532	3,31605103	-1,230934079
8	48	0,2912	3,31605103	-1,066572746
9	72	0,3292	3,94257813	-0,918219859
10	72	0,3671	3,94257813	-0,782016738
11	72	0,4051	3,94257813	-0,655191463
12	72	0,4431	3,94257813	-0,535656705
13	72	0,4810	3,94257813	-0,421769508
14	72	0,5190	3,94257813	-0,312177603
15	72	0,5569	3,94257813	-0,205713381
16	96	0,5949	4,32481237	-0,101313465
17	96	0,6329	4,32481237	0,002050597
18	120	0,6708	4,60067345	0,105442501
19	144	0,7088	4,81665675	0,21004588
20	144	0,7468	4,81665675	0,317284536
21	144	0,7847	4,81665675	0,429018417
22	216	0,8226	5,27582293	0,547905046
23	216	0,8606	5,27582293	0,6781588
24	240	0,8985	5,39158608	0,827432582
25	648	0,9363	6,44182548	1,01280283
26	720	0,9737	6,55043918	1,291409231

Fuente: Propia

El método de mínimos cuadrados se desarrollo en el programa de Microsoft Excel, mediante la transformación doble logarítmica de la función acumulada de Weibull.

- Primero se ordenan los datos del tiempo medio entre fallas de forma descendente (vida del equipo en días).

- Se calcula el rango de la mediana $Rm = \frac{\frac{i}{n-i+1}}{F_{i-\alpha, 2(n-i+1)2i + \frac{i}{n-i+1}}}$

Donde i= Orden de la falla

N= Numero total de datos

α = Nivel medio de significancia con valor de 0,5.

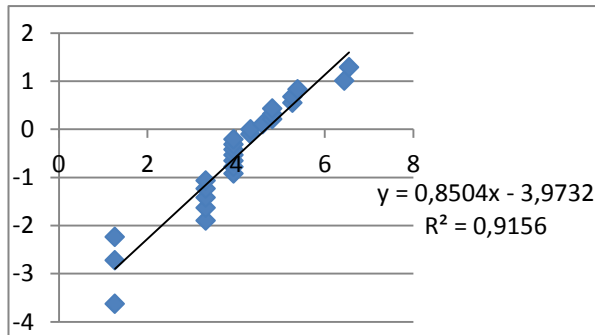
- Luego se calcula el logaritmo natural del tiempo entre fallas para cada observación. $Ln = (\text{tiempo medio entre fallos} - \gamma_{inicial})$.

- Se haya la ordena da Yi.

$$Yi = Ln \left[\ln \left[\frac{1}{1-Rm} \right] \right].$$

- Se procede hacer la grafica de los valores de Yi, generando la recta de regresión como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Recta de regresión



pendiente	intercepto	r	r2
0,85043	-3,97319	0,95687	0,9156

Hallando los parámetros del modelo de Weibull registrados en la tabla 17.

Pendiente de la recta = Parámetro de forma

Y el η parámetro de escala = $e^{-(-\frac{Intercepto}{\beta})}$

Tabla 17. Parámetros del modelo Weibull.

β = forma	0,850432485
η = escala	106,9084927
γ =localización	20,448664

Análisis de los parámetros del modelo Weibull.

$\beta < 1$ Se debe reevaluar el programa de mantenimiento preventivo

$\beta > 1$ Se debe crear o aumentar el programa de mantenimiento preventivo

Como $\beta < 1$ significa que se debe evaluar el programa de mantenimiento preventivo actual, puede ser mas rentable reducir o enfocarse a otro tipo de mantenimiento como el autónomo.

El valor de β obtenido está muy cercano a 1, se podría pensar que el equipo está saliendo de su etapa inicial (tasa de falla variable), este periodo se caracteriza por un numero de averías superiores a la considerada normal y va decreciendo a medida que va pasando el tiempo, para pasar a la etapa de madurez (tasa de fallas más o menos constante) según la grafica de la curva de la curva de la bañera³⁷ (ver anexo G).

³⁷ GONZALEZ Fernández, "Teoría y Practica del mantenimiento industrial avanzado". 2 ediciones. Pág.124.

Validación del modelo

Para verificar que las fallas de los equipos poseen una distribución Weibull como se afirmó, se utiliza un procedimiento estadístico reconocido como la prueba de Kolmogorov, en donde se evaluará la normalización de los datos en la muestra obtenida de las fallas de los equipos y las otras distribuciones.

Tabla 18. Datos del test de Kolmogorov.

INTERVALO INF	INTERVALO SUP	O _i	P _{oi}	POA _i	PEA _i	[POA _i -PEA _i]
24	163	21	0,808	0,808	1,0	-0,1923
164	303	3	0,115	0,923	1,0	-0,0769
304	443	0	0,000	0,923	1,0	-0,0769
444	583	0	0,000	0,923	1,0	-0,0769
584	723	2	0,077	1,000		
TOTAL		26				

Hipótesis:

H₀: Los datos tiene una distribución Weibull ($\beta=0,850432485$, $\eta=106,9084927$) horas/fallas.

H₁: otra distribución

Tabla 19. Parámetros de la prueba

β = forma	0,850432485
η = escala	106,9084927
$\bar{x}$ =	72,00
σ =	28282
n= numero de datos	26

La prueba de Kolmogorov indica que si el valor estadístico generado por las observaciones es menor que el valor crítico (Dato suministrado por tablas) no se puede rechazar la hipótesis nula.

- Valor estadístico = 0,1923
- Valor critico = 0,264 TABLA DE KOLMOGOROV

Por tanto $0,1923 < 0,264$ No se rechaza la hipótesis nula y se verifica que los datos tienen una distribución de Weibull.

El tiempo medio entre fallos será:

$$MTBF^{38} = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \gamma$$

Se calcula con la ayuda del anexo F. (tabla de fiabilidad), que nos da los valores de gamma tabulando para un $\beta = 0,8504$

Tabla 20. Valores de gamma.

B	$m/\eta = \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) + \gamma$
0,8	1,1330
0,8504	1,088527
0,9	1,0522

Remplazando en la formula del MTBF y con la comprobación de los parámetros del modelo Weibull se puede decir que:

$$MTBF: 106,9 \left(1 + \frac{1}{0,8504}\right) + 20,44$$

$$MTBF = 106,9 \times 1,088527 + 20,44$$

$$MTBF = 136,8$$

Tiene un tiempo entre fallas de: 136,84 días = 3284 horas.

Para interpretar esto se empieza enfatizando que 6 meses tiene 4.380h.

Si se divide 3284/ 4380h da como resultado 0, 74 lo que quiere decir que aproximadamente por cada equipo del conjunto de las 14 maquinas seleccionadas para el análisis, se espera que 1 falle en un mes.

Una confiabilidad de:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{136,84-20,4}{106,9}\right)^{0,85}}$$

$$R(t) = 34,1\% \text{ confiabilidad en } t = \text{tiempo medio entre fallas.}$$

La confiabilidad de los equipos del Centro de Formación Integral de Providencia es de un 34,1 % debido a las fallas analizadas en la tabla 9. "Pareto de la clasificación de fallos" para minimizar el resultado la empresa tiene como política disponer de otros equipos en stock para evitar paradas súbitas en el proceso.

³⁸ MELCHOR Carlos, "Mean time between failures". <http://carlosmelchor.blogspot.com/2009/09/el-mtbf-mean-time-between-failures.html> [Agosto 2011].

7.2.2. Paso2: Revertir el deterioro y corregir debilidades.

El propósito de este programa es lograr que cada operario se involucre directamente en el continuo mantenimiento de sus equipos, que aprenda más sobre su herramienta de trabajo y tenga el suficiente conocimiento para evitar el deterioro a través de una correcta operación y chequeo diarios.

7.2.2.1. Programa de mantenimiento autónomo

Debido a los tipos de fallas encontrados en el análisis actual de la empresa, y en acuerdo con el personal técnico de mantenimiento de la organización, se evidencio la causa raíz de dichas fallas, siendo generadas por la falta de limpieza ocasionando daños en los rodamientos debido al mayor esfuerzo en el desarrollo de su función y la falta de lubricación ocasionando desgaste en los engranaje. Por ello se diseña una propuesta de programa de mantenimiento autónomo para aprovechar oportunidades de mejoras.

Actividades del departamento de producción.

Es una realidad que el departamento de producción y el de mantenimiento deben trabajar de forma conjunta para crear un lugar de trabajo libre de fallos y dificultades, los operarios deben superar los paradigmas de ser solo los responsables de operar un equipo, son ellos los que más deben conocer su herramienta de trabajo y por ende mantenerla en las mejores condiciones operativas, se describirán tres clases de actividades en las cuales se deben enmarcar el programa de mantenimiento autónomo.

1. Evitar el deterioro: Para evitar el deterioro del equipo se debe realizar una correcta operación evitando errores humanos, no forzar el equipo a su capacidad máxima.

Establecer condiciones básicas del equipo por medio de limpieza diaria, lubricación, y apretado de pernos.

Registros del mantenimiento, para evitar repeticiones de fallo y creación de programas de mantenimiento optimizados.

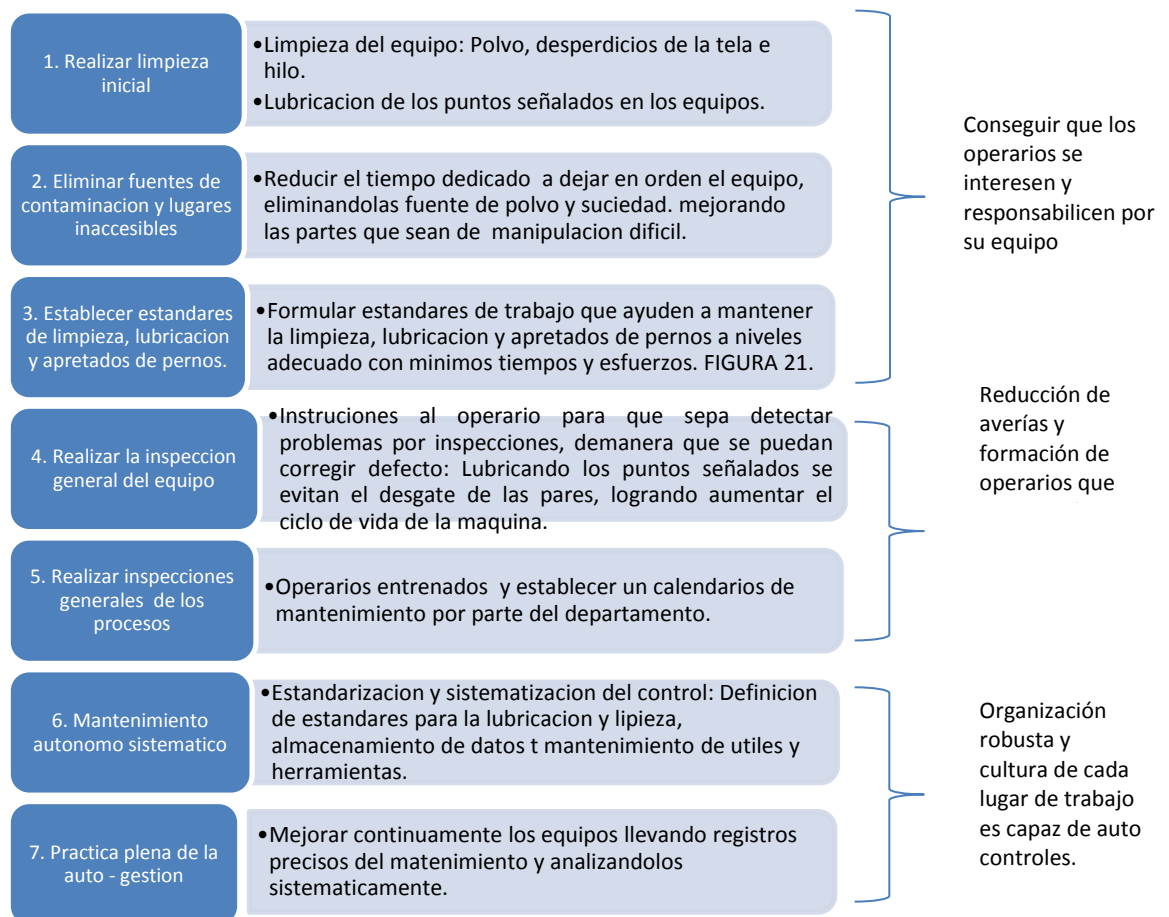
2. Medir el deterioro: El deterioro se mide a través de inspecciones diaria realizadas por el operario con los cinco sentidos.

3. Predecir y restaurar el deterioro: Realizar medidas de emergencia para fallos súbitos, cambio de componentes y para predecir el deterioro se debe realizar una inspección rutinaria empleando los cinco sentidos.

Estas actividades deben ser realizadas por los operarios debido a que son ellos los que interactúan directamente con los equipos durante toda su jornada de trabajo.

Para diseñar un buen programa de mantenimiento se deben tener en cuenta las etapas básicas que representan una óptima división de las actividades entre los departamentos de mantenimiento y producción al llevar a cabo las actividades de mejoras. Estas etapas son:

Figura 9. Las etapas del programa de mantenimiento autónomo³⁹



En la figura 9. Se muestra las 7 etapas del mantenimiento autónomo, pero por el alcance del proyecto y para efectos prácticos del mejoramiento en la empresa solo se enfocarán en las tres primeras etapas

³⁹ SUZUKI. Tokutaro, TPM en industrias de proceso. Pág. 102.

- **Realizar una limpieza inicial**

El objetivo de esta actividad es elevar la fiabilidad de los equipos por medio de una serie de actividades de limpieza e inspecciones rutinarias para corregir deficiencias menores y establecer las condiciones básicas del equipo de esta manera a largar su tiempo de vida

Planeación: Se convoca a los jefes de producción para concertar un paro del área de confecciones en la jornada de limpieza, en donde se presentan las actividades a desarrollar, duración y justificando las mejoras que se obtendrán.

Ejecución: Durante la jornada los líderes de cada módulo observan aproximadamente 15 min la operación de la maquina resaltando aspectos como:

- Condiciones de limpieza del equipo y el área alrededor, verificar si existen derrames de fluidos.
- Ruidos extraños
- Condiciones del operador en ergonomía y seguridad
- Cada operario debe identificar el estado de deterioro de su equipo: registrando partes dañadas, fugas, corrosión, defectos ocultos por polvo o suciedad.
- Eliminar el deterioro acelerado: El operario debe identificar las causas de anomalías y eliminarlas.

Se debe acordar una sesión con los jefes de producción y el grupo después de la jornada de limpieza para verificar aspectos como:

- Establecer la acción de corrección, fechas y responsables por cada anomalía que se detecto y no fue corregida.
- Publicar las fotos de un antes y un después de la jornada de limpieza de los equipos.
- Verificar el adecuado uso de las tarjetas de anomalías, brindando una capacitación sobre la importancia y el apropiado manejo, que permitan identificar con rapidez las situaciones normales o anormales de los equipos (ver anexo F).

Seguimiento:

Todo el personal debe participar en el programa de desarrollo.

Durante el proceso no deberá afectarse la operación normal de producción.

El programa deberá volverse una cultura organizacional de desarrollo pleno.

Garantizar mínimo el 80% de cumplimiento y atención de anomalías conjuntadas con la propuesta.

No deberá ser visto este proceso como trabajo extra sino como cultura de desarrollo.

Para lograr el cumplimiento de esta etapa, se debe realizar el seguimiento para evidenciar la disminución gradual de los indicadores de la tabla 22 en la pagina 92.

- **Eliminar las fuentes de contaminación y lugares inaccesibles**

El objetivo para esta etapa es lograr que cada operario reduzca el tiempo requerido para realizar las tareas de limpieza e inspección controlando las fuentes de contaminación que posteriormente tiene efectos de deterioro sobre los equipo.

En primer lugar se motiva y concientiza al trabajador de la importancia que tiene identificar y elimine las fuentes de fugas, derrames para mejorar esta etapa del programa de mantenimiento como por ejemplo.

- El residuo de las prendas dentro del sistema de transmisión en el equipo.
- Evitar o corregir derrames de lubricantes.

Cuando se involucra al operario en el proceso, la implementación del programa es más sencilla, esto se logra por medio del acercamiento de los líderes de las líneas de producción con los operarios de los equipos, prestando la atención debida a cualquier tipo de mejora o anomalía que se reporta. Debido a que el operario se siente mas comprometido con el programa viendo realizadas sus propuestas y dándose cuenta que estas atendiendo sus necesidades tienden a crecer lo cual es vital para generar un menor paro de producción.

En segundo lugar es mejorar la accesibilidad para reducir el tiempo de trabajo en la limpieza e inspección como por ejemplo:

- En lugares de difícil acceso en el equipo utilizar herramientas de limpieza más eficientes como por ejemplo soplete, aspiradoras para eliminar polvo y material de residuo.
- Enumeración de los puntos claves para la lubricación de los equipos en esta forma contribuir con un procedimiento estandarizado e ir disminuyendo el tiempo cada vez que se realice la actividad.
- Se debe detectar los lugares donde se acumulan suciedad y materias extrañas.
- Se debe detectar si esta suciedad proviene del propio proceso, proceso anterior o del medio ambiente.

Estas observaciones se hacen por el operario y por alguien ajeno al proceso, deben estar registradas en el formato de mejoras al equipo. En este mismo formato se plasma los lugares donde la limpieza fue mas difícil o tomó demasiado tiempo.

En tercer lugar se debe reunir el equipo líder del programa conformado por el gerente de producción, supervisores, y lideres de modulo, para establecer las acciones pertinentes y el tiempo de culminación de los puntos a mejorar.

En cada reunión del equipo se estipulara:

- Realizar un acta de comité estableciendo el objetivo de la reunión.
- Realizar un diagrama Ishikawa sobre el impacto que las acciones tendrán en la línea de producción.
- Designar fechas y responsable de cada actividad.
- Designar una nueva fecha para presentar avances o culminaciones de dichas actividades.
- Esta sesión no deben exceder mas de 1 hora, pero realizando un análisis a fondo.
- Las mejoras deberán ser aplicadas como un indicador que genere una evaluación mensual en la línea de producción.

- **Establecer estándares de limpieza, lubricación y apretados de pernos**

El objetivo de esta etapa del mantenimiento autónomo es establecer procedimiento en conjunto con los operarios para el desarrollo de la inspección diaria manteniendo el nivel de limpieza realizada en la etapa 1 del programa, además de clasificar las actividades de mantenimiento por áreas.

➤ Actividades para el departamento de mantenimiento

1. El departamento de mantenimiento tiene la responsabilidad de efectuar mantenimiento periódicos programados, restauraciones de las condiciones del equipo y todo lo que requiera un alto nivel de habilidad y conocimiento.
2. Mantener registros de mantenimiento
3. Evaluación del resultado de mantenimiento efectuados
4. Cooperar con el programa de mantenimiento autónomo en la capacitación del personal de producción.

Estas actividades se realizan por el departamento de mantenimiento debido a que se requiere de experiencia técnica y preparación para el desarrollo de manera efectiva.

El auto- establecimiento de normas es una técnica que contribuye a que los operarios se identifique y la sigan de manera cotidiana, se sabe que lo que se impone nunca se cumple por ello, se recomienda realizar esta etapa con la colaboración de los operario y que prendan a ser responsable de su propio equipo realizando inspecciones diarias atreves de la limpieza.

La tabla 21. Se llama “Estándar provisional de limpieza e inspección” debido a que cada vez que se realice este procedimiento se identifiquen puntos claves para mejorar esta guía con la ayuda de los operarios, estableciendo objetivos de tiempo para limpieza, lubricación y ajuste de pernos cada vez mas cortos.

Esta etapa del programa de mantenimiento se debe contar también con controles visuales sobre los equipos donde indiquen la forma precisa de realizar una inspección tales como placas de identificación, especificaciones y formas de operación del equipo de forma correcta.

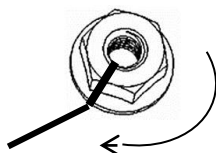
Por ejemplo:

- Marcar cada equipo con una placa donde se encuentre su nombre y código para una identificación inmediata.

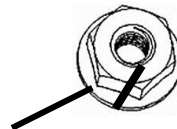
AP = Área de producción

AP - 00884
Maquina 2 Aguja

- Ubicar marcas en tuercas y pernos indicando la dirección de la fuerza para simplificar la operación.



Apretado correcto



Fuera de marca

- Identificando puntos clave de lubricación, la cantidad y el tipo de lubricante.

“foto de equipo piloto”

- Identificación de puntos inseguros para realizar el mantenimiento autónomo, exclusivo para personal calificado evitando accidentes.



Tabla 21. Estándar provisional de limpieza, chequeo y lubricación.

LOGO	ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO AUTONOMO (limpieza, chequeo y lubricación)						Modulo: _____ Líder: _____	Fecha: _____ Preparado: _____ Revisado: _____
	PIEZA	ESTÁNDAR	METODO	HERRAMIENTAS	ACCIÓN EN CASO ANORMAL	TIEMPO (MIN)	INTERVALO	RESPONSABLE
Máquina plana	cabezal	No suciedad/derrame aceite	Limpiar	*Brocha o escobilla	_____		*Diario, después de cada uso	
	Placa fija/ móvil	No suciedad como pelusas/sin objetos extraños		*Escobilla	Informar supervisor		Diario después del uso	
	Bobina	Libre de impureza	Limpiar	*Brocha	_____	(5 min)	*Diario	
	Lubricación	Verificación cambio de aceite		*Aceitera	lubricar		*Mínimo cada 2 meses	
	Estructura	No ruido inusual, sobrecalentamiento, o deformación de tornillos – apretar tornillería		_____	Apretar o remplazar	(3min)	*mensual	
	Transmisión (correas - poleas)	No vibración, ruido anormal, sobrecalentamiento		_____	Informar a supervisor	(1min)	*Semanal	
	Cadenas y dientes	No ruidos anormal, lubricación adecuada		_____	Lubricar		*Semanal	
Máquina remachadora	Limpieza de cabezal	No suciedad/derrame aceite	Limpiar	*Brocha o escobilla	_____		*Diario, después de cada uso	
	Placa fija/ móvil	No suciedad como pelusas/sin objetos extraños		*Escobilla	Informar supervisor		*Semanal	
	Cuchillas de corte	Afilar de acuerdo al uso			Informar al de mantenimiento		*Mensual	
	Lubricación	Verificación cambio de aceite		*Aceitera	lubricar		*Mínimo cada 90 días	
	Estructura	No ruido inusual, sobrecalentamiento, o deformación de tornillos – apretar tornillería			Apretar o remplazar	(3min)	*mensual	
	Transmisión (correas - poleas)	No vibración, ruido anormal, sobrecalentamiento		_____	Informar a supervisor	(1min)	*Semanal	
	Cadenas y dientes	No ruidos anormal, lubricación adecuada		_____	Lubricar		*Semanal	

Tabla 21. Estándar provisional de limpieza, chequeo y lubricación. (Continuación).

LOGO	ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO AUTONOMO (limpieza, chequeo y lubricación)						Modulo: _____ Líder: _____	Fecha: _____ Preparado: _____ Revisado: _____
	PIEZA	ESTÁNDAR	METODO	HERRAMIENTA	ACCIÓN EN CASO ANORMAL	TIEMPO (MIN)	INTERVALO	RESPONSABLE
Máquina cortadora	Cortadora	No suciedad/derrame aceite	Limpiar	*Escobilla	_____		*Diario, después de cada uso	
	Lubricación	Verificación cambio de aceite		*Mechero	lubricar		*Verificar cada semana	
	Prensa telas	Afilar cuando este se encuentre a nivel de la base			Informar al de mantenimiento		*Mensual	
	Estructura	No ruido inusual, sobrecalentamiento, o deformación de tornillos– apretar tornillería		_____	Apretar o remplazar	(3min)	*mensual	
	Transmisión (correas - poleas)	No vibración, ruido anormal, sobrecalentamiento		_____	Informar a supervisor	(1min)	*Semanal	
	Cadenas y dientes	No ruidos anormal, lubricación adecuada		_____	Lubricar		*Semanal	
Máquina Recubridora	cabezal	No suciedad/derrame aceite	Limpiar	*Brocha pequeña y destornillador	_____		*Diario, después de cada uso	
	Cuchillas de corte	Afilar de acuerdo al uso			Informar al de mantenimiento		*Mensual	
	Lubricación	*Verificación del nivel de aceite *lubricar todos los rodamientos		*Aceitera	lubricar		*2 meses	
	Estructura	No ruido inusual, sobrecalentamiento, o deformación de tornillos– apretar tornillería		_____	Apretar o remplazar	(3min)	*mensual	
	Transmisión (correas - poleas)	No vibración, ruido anormal, sobrecalentamiento		_____	Informar a supervisor	(1min)	*Semanal	
	Cadenas y dientes	No ruidos anormal, lubricación adecuada		_____	Lubricar		*Semanal	

Tabla 21. Estándar provisional de limpieza, chequeo y lubricación. (Continuación).

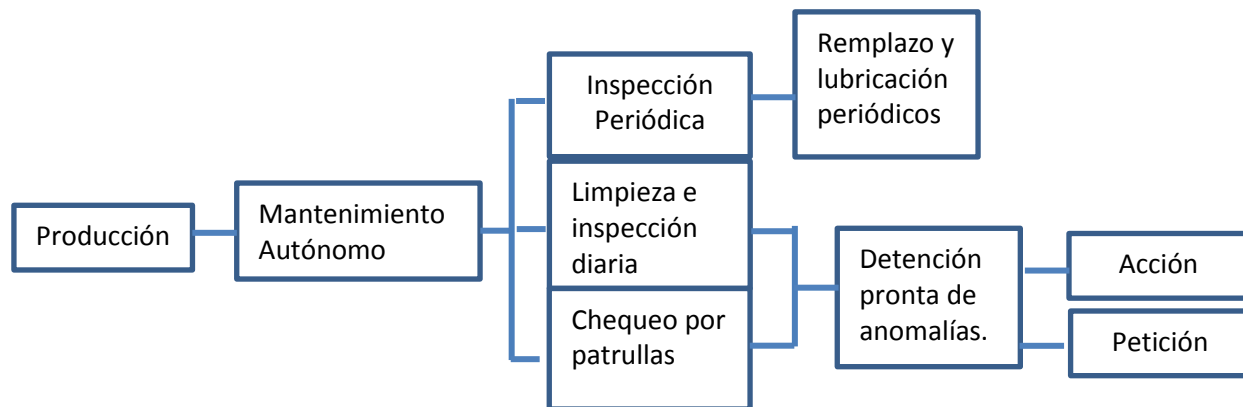
LOGO	ESTÁNDAR DE MANTENIMIENTO AUTONOMO (limpieza, chequeo y lubricación)						Modulo: _____ Líder: _____	Fecha: Preparado: _____ Revisado: _____
	PIEZA	ESTÁNDAR	METODO	HERRAMIENTAS	ACCIÓN EN CASO ANORMAL	TIEMPO (MIN)	INTERVALO	RESPONSABLE
Motor	Ventilador	Revisar las rejillas/libres de impurezas	Limpiar pelusas 	*soplete	Informar al supervisor o mantenimiento		*Cada 15 días	
	Estructura	No suciedad/evitar derrames de aceite	 Limpiar	*trapo	Informar al supervisor o mantenimiento		*Cada mes	
	Estructura	No ruido inusual, sobrecalentamiento, o deformación de tornillos	  	_____	Informar a supervisor	(3min)	*Mensual	
	Estructura	No vibración /No ruido Apretar tornillos flojos/ No pizas desgastadas	  	_____	Apretar o remplazar	(2 min)	*Mensual	

La tabla 21. “Estándar provisional de limpieza, chequeo y lubricación”, es una adaptación al proceso de confecciones de la filosofía de “Inspección a través de la limpieza”. Muestra los pasos para tener en cuenta en las inspecciones rutinarias, utilizando los sentidos como oír, mirar, sentir para detectar cualquier cambio que se produzca en el equipo durante la jornada de trabajo diaria.

- **Auditorias del mantenimiento autónomo.**

El cumplimiento de esta etapa del programa de mantenimiento autónomo, depende de la definición de estándares que permitan dividir las responsabilidades de cada departamento, para la identificación y control de los recursos que se necesiten en el desarrollo de las actividades de mantenimiento.

Figura 10. Responsabilidad de producción en la mantención de equipos



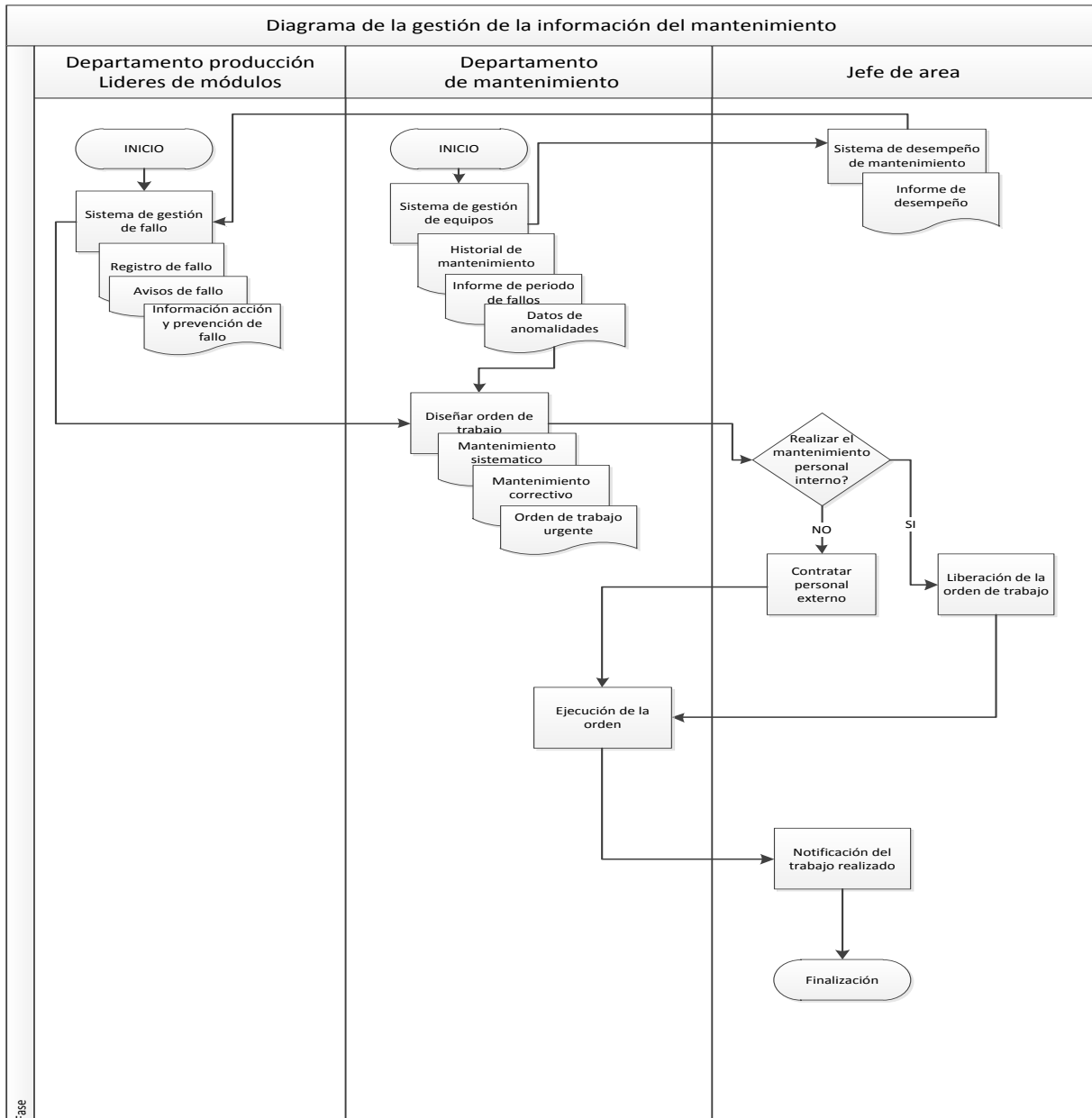
Seguimiento de las actividades

- Preparar un cronograma de checklist por equipo.
- La actividad del checklist se ejecutara por una persona líder del grupo de mantenimiento o el encargado de las actividades del departamento de mantenimiento.
- Esta actividad se realizará una vez en el día, revisando de forma aleatoria la tercera parte de los equipos conformados por cada modulo, sin previo aviso.
- El objetivo de este checklist es ayudar a concientizar a los operarios de la limpieza de cada uno de los equipo en el momento de ejecutar sus tareas diarias de trabajo y no al terminar un lote de producción, evitando de esta forma el deterioro del equipo prematuramente.
- Se llevara un indicador de limpieza por módulo.
- Este indicador debe ser revisado por el jefe del área.
- Se debe analizar los resultados y tomar medidas preventivas y pedagógicas para mejorar al 100% el indicador.

7.2.3. Paso tres: crear un sistema de gestión de la información

Todo diseño organizativo así como su información debe constituir un sistema coherente que permita la toma, en el momento adecuado de las decisiones convenientes y permitan alcanzar los objetivos, en este caso del programa de mantenimiento. Donde va a servir para organizar, controlar y administrar la información que se requiere en la gestión del mantenimiento.

Figura 11. Diagrama de la información del mantenimiento



Fuente: Propia.

Mantenimiento preventivo: Para ejecutar el programa de mantenimiento se requiere elaborar unas ordenes de trabajo que sirven para llevar una correcta planeación y control de las actividades (registros de datos) que se van a ejecutar durante el desarrollo del programa por ello, se debe diseñar un formato adecuado de orden de trabajo (Anexo D.), en el que se incluyan materiales requerido, tiempo de duración de la actividad, responsables entre otras; esta información puede ser utilizada para graficar y analizar fallas, actividades realizadas periódicamente, costos etc.

Además se debe generar un resumen de fallos del periodo (anexo E.), como fuente de información y análisis para el jefe de áreas en la toma de decisiones a corto y largo plazo.

Mantenimiento correctivo: Los usuarios (operarios de producción) solicitan la reparación del equipo a través de avisos de fallos en nuestro caso en las tarjetas rojas ubicadas en los equipos, al retirar la tarjeta el técnico debe generar la orden de trabajo.

Posteriormente se debe aprobar la orden de trabajo por el jefe de área y ejecutarla o contratar personal externo.

Esta información puede ser utilizada para graficar y analizar fallas, actividades periódicas y costos.

Documentos relacionados

- Registro del historial del equipo (anexo C.)

Trabajos menores o de urgencia. Serán notificados en las tarjetas azules los menores y resueltos por los mismos operarios capacitados, si es necesario buscar la ayuda de los técnicos, estos deberán estar disponibles.

Documentos relacionados

- Avisos de fallos: tarjetas azules.

Reporte ejecutivo: En este informe se debe realizar los indicadores de gestión integral a corto, mediano y largo plazo.

Realizar el control de los recursos utilizados en las diferentes actividades de mantenimiento.

Este informe debe ser realizado por el encargado del mantenimiento y dirigido para su posterior análisis para el jefe de área.

7.2.4. Paso cuatro: Creación de un programa de mantenimiento

Para la programación del mantenimiento se realiza una aplicación de la modelación matemática para establecer una política de mantenimiento periódico, en donde se hallará el periodo en el cual se efectúa el mantenimiento de los equipos que anteriormente se definieron como críticos y semi- críticos, teniendo como función objetivo la minimización de los costos totales de mantenimiento y como una de las restricciones de un nivel mínimo de confiabilidad del sistema durante un horizonte de tiempo planificado.

7.2.4.1. Formulación del modelo matemático.

Función Objetivo:

Minimizar costos totales de mantenimiento = Costo de incurrir en la falla + costo de mantenimiento + costo de remplazo de un componente + Costo fijo

Restricciones:

- Edad inicial del equipo igual a cero
- Función para determinar actividades de mantenimiento
- Restricción de confiabilidad de los equipos
- Variables binarias
- Restricciones lógicas

Formulación matemática del modelo

Minimizar los costos totales²³ = $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \left[F_i \left((X'_{i,j} - \gamma_i)^{\beta_i} - (X_{i,j} - \gamma_i)^{\beta_i} \right) / \lambda_i + M_i \cdot m_{i,j} + R_i \cdot r_{i,j} \right] + \sum_{j=1}^T \left[z \left(1 - \prod_{i=1}^N \left(1 - (m_{i,j} + r_{i,j}) \right) \right) \right]$

S.t

$$X_{i,1}=0 \quad i=1,\dots,N$$

$$X_{i,j} = (1 - m_{i,j-1})(1 - r_{i,j-1})X'_{i,j-1} + m_{i,j-1}(\alpha X'_{i,j-1}) \quad i=1,\dots,N \text{ y } j=2,\dots,T$$

$$m_{i,j} + r_{i,j} \leq 1 \quad i=1,\dots,N \text{ y } j=2,\dots,T$$

²³ Moghaddam, Kamran **Preventive Maintenance and Replacement Scheduling:**

Models and Algorithms, cabe resaltar que en función objetivo se cambió del modelo Poisson a modelo Weibull debido a el tipo de distribución de las fallas que se presenta en este caso.

$$\prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T e^{-\left[\left((X'_{i,j}-\gamma_i)^{\beta_i} - (X_{i,j}-\gamma_i)^{\beta_i}\right)/\lambda_i\right]} \geq Re$$

$$m_{i,j}, r_{i,j} = 0 \text{ o } 1 \quad i=1, \dots, N \text{ y } j=2, \dots, T$$

$$X_{i,j} + X'_{i,j} \geq 0 \quad i=1, \dots, N \text{ y } j=2, \dots, T$$

El modelo matemático paso a paso

A continuación se formula el modelo matemático paso a paso, iniciando con la función objetivo y continuando con cada conjunto de restricciones.

$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \left[F_i \left((X'_{i,j} - \gamma_i)^{\beta_i} - (X_{i,j} - \gamma_i)^{\beta_i} \right) / \lambda_i \right]$ **Costo de falla:** La primera sumatoria corresponde a los costos incurridos mediante la probabilidad que se incurra en fallas, se calcula el numero esperado de fallas del equipo i en el periodo j, bajo el supuesto de una distribución Weibull multiplicado por (Fi) costo promedio de falla.

$X_{i,j}$ = Denota la edad efectiva del equipo i al inicio del periodo j

$X'_{i,j}$ = Denota la edad efectiva del equipo i al final del periodo

Los parámetros β_i , λ_i γ_i son los mismos definidos anteriormente en el procesamiento y análisis de datos de la distribución de Weibull.

$M_i, m_{i,j}$ **Costo de mantenimiento:** Si el mantenimiento se lleva acabo en el equipo i en el periodo j, se incurre en un costo de mantenimiento constante (Mi) al final del periodo.

$R_i, r_{i,j}$ **Costo de remplazo:** Si el componente i se sustituye en el periodo j, se asume que el costo de remplazo es el precio de compra del repuesto

$\sum_{j=1}^T \left[z \left(1 - \prod_{i=1}^N \left(1 - (m_{i,j} + r_{i,j}) \right) \right) \right]$ **Costo fijo:** Costo que se le atribuye a las actividades que se realiza aprovechando el momento que el sistema se apaga para realizar el mantenimiento programado, y se le hace mantenimiento a otros componentes aun que no estén en el tiempo de realizar esta actividad.

Restricciones

$X_{i,1}=0$: Supone que la edad inicial para cada equipo es cero, para el periodo planeado si se realiza un remplazo total del equipo.

$X_{i,j} = (1 - m_{i,j-1})(1 - r_{i,j-1})X'_{i,j-1} + m_{i,j-1}(\alpha X'_{i,j-1})$: Como se definió anteriormente esta restricción permite la decisión de actividades a realizar, si el remplazo de componente se produce en el periodo anterior, entonces $r_{i,j-1}=1$, $m_{i,j-1} = 0$ por lo que $X_{i,j} = 0$. Si se le realiza mantenimiento al equipo anteriormente $r_{i,j-1}=0$, $m_{i,j-1} = 1$ por lo tanto $X_{i,j} = \alpha X'_{i,j-1}$ y finalmente, si no se hace nada $r_{i,j-1}=0$, $m_{i,j-1} = 0$ y $X_{i,j} = X'_{i,j-1}$.

Donde α es el factor de mejora del equipo siendo $\alpha = 0$ bueno como nuevo y $\alpha = 1$ malo.

$\prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T e^{-\left[\left((X'_{i,j}-\gamma_i)^{\beta_i} - (X_{i,j}-\gamma_i)^{\beta_i}\right)/\lambda_i\right]} \geq Re$: Este modelo intenta minimizar los costos de mantenimiento sujeto a una restricción de confiabilidad en un horizonte de tiempo para una serie de equipos, siendo:

$Re: e^{-ELNijl}$ La ecuación de confiabilidad y

$\prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T e^{-ELNijl}$ La confiabilidad de una serie de equipos en el periodo j.

Restricciones lógicas

$$m_{i,j}, r_{i,j} = 0 \text{ o } 1$$

$$X_{i,j} + X'_{i,j} \geq 0$$

$$m_{i,j} + r_{i,j} \leq 1$$

Las restricciones obvias, como su nombre lo indica, expresan simplemente que la edad efectiva de los equipos no puede ser negativa y que las variables decisión de realizar mantenimiento (m_i) o remplazo de componentes (r_i) son binarias. Estas restricciones generalmente no se cuentan dentro del número de restricciones del modelo matemático. Sin embargo, son muy importantes.

7.2.4.2. Solución del modelo por Internet en el NEOS Server

- Se realiza el modelo anteriormente descrito en el lenguaje Ampl, que incluye conjunto, parámetros y variables.
- Se diseña un archivo de comandos en lenguaje Ampl, que permite informarle al sistema como se desea que salgan los resultados.
- Se ingresa a la pagina web <http://neos.mcs.anl.gov/neos/solvers>, se escoge el solucionador en este caso Knitro debido a que es un modelo no – lineal entera mixta con restricciones no- lineales.

Figura 12. Modelo en lenguaje de Ampl.

```
param T >=0, integer; #parametro que determina el horizonte planeado
param J >=0, integer; #parametro que indica el periodo
param z >=0, integer; #parametro del costo fijo
param A >=0; #parametro que indica el factor de mejora
param RE>=0; #valor de la confiabilidad

set cost_equip;

param CM {i in cost_equip} >= 0; # costo de mantenimiento
param CF {i in cost_equip} >= 0; # costo de la falla
param CR {i in cost_equip} >= 0; # costo de cambio de repuesto
param G {i in cost_equip} >= 0; # parametro de escala
param B {i in cost_equip} >= 0; # parametro de forma
param L {i in cost_equip} >= 0; # Parametro de localizacion

#variables
var x {i in cost_equip, j in 1..T} >= 0;
var y {i in cost_equip, j in 1..T} >= 0;

var m {i in cost_equip, j in 1..T} binary;
var r {i in cost_equip, j in 1..T} binary;

# funcion objetivo
minimize total_costo: sum {i in cost_equip, j in 1..T} (((CF[i]*((y[i,j]-Li)^B[i]-(x[i,j]- Li)^B[i])/G[i])+CM[i]*m[i,j]+CR[i]*r[i,j])+
sum {j in 1..T}(z*(1- prod{i in cost_equip}(1-(m [i,j] + r [i,j])))))));

# restricciones
subject to periodo_inicial {i in cost_equip}: x [i,1]=0;
subject to edad_inicial { i in cost_equip, j in 2..T}: x[i,j]=(1- m[i,j])*(1-r[i,j])*y[i,j-1]+m[i,j-1]*(A*y[i,j-1]);
subject to edad_final { i in cost_equip, j in 1..T}: y[i,j] = x[i,j] + 1;
subject to Confiabilidad: prod {i in cost_equip, j in 1..T} 2.71828^(-(y[i,j]-Li)^B[i]-(x[i,j]-Li)^B[i])/G[i])>= 0.4;
```

Figura 13. Modelo en lenguaje Ampl de forma abreviada.

```
var x { j in 1..12 } >= 0;
var y { j in 1..12 } >= 0;

var m { j in 1..12 } binary;
var r { j in 1..12 } binary;

minimize total_costo: sum {j in 1..12} (50000*106.9*((y[j])^0.8504-(x[j])^0.8504)+700000*m[j]+2000000*r[j])+
(sum {j in 1..12}
(535000*(1-(m[j] + r[j]))));

subject to edad_inicial { j in 2..12}: x[j]=(1- m[j])*(1-r[j])*y[j-1]+m[j-1]*(0.6*y[j-1]);
subject to edad_final { j in 1..12}: y[j] = x[j] + 1;
subject to confiabilidad: prod {j in 1..12} 2.71828^(-(106.9*(y[j]^0.8504-x[j]^0.8504)))>= 0.4;
subject to binaria { j in 1..12}: m[j]+r[j]<=1;
```

En el archivo de los datos, Cabe destacar que se han considerado un conjunto de fallas, debido a la poca información manejada por la empresa sobre las mantenciones realizadas a sus equipos, determinando los parámetros del modelo de Weibull en el diagnostico actual de los equipos, los costos fueron suministrados por la gerencia de la empresa.

Figura 14. Archivo de comando para el solucionador KNITRO

```
option show_stats 1;
option solution_precision 0;
option display_precision 0;
option display_round 1;
option display_width 50;

# COMANDO DE SOLUCIÓN:
solve;

# COMANDOS DE IMPRESIÓN DE RESULTADOS:
printf "\n\n*****\n";
printf "RESULTADOS DEL PROBLEMA \n";
printf "*****\n";
printf "\ntotal_costo = \t%12.1f", total_costo;
printf "\n\nEdad efectiva actual =\n";
display x;
printf "\nEdad efeciva del periodo anterior =\n";
display y;
printf "\nmantenimiento =\n\n";
display m;
printf "\nreemplazo =\n\n";
display r;
```

7.2.4.3. Evaluación y análisis del modelo.

Figura 15. Resultados obtenidos en el solucionador KNITRO

```
Problem Characteristics
-----
objective goal: Minimize
Number of variables: 48
  bounded below: 24
  bounded above: 0
  bounded below and above: 24
  fixed: 0
  free: 0
Number of binary variables: 24
Number of integer variables: 0
Number of constraints: 36
  linear equalities: 12
  nonlinear equalities: 11
  linear inequalities: 12
  nonlinear inequalities: 1
  range: 0
Number of nonzeros in Jacobian: 127
Number of nonzeros in Hessian: 344

No start point provided -- KNITRO computing one.

KNITRO detected 12 GUB constraints
KNITRO derived 0 knapsack covers after examining 12 constraints
KNITRO solving root node relaxation

EXIT: Problem appears to be infeasible.

Final Statistics for MIP
-----
Final objective value = 1.24841715005874e+07
Final integrality gap (abs / rel) = Infinity
# of nodes processed = 1
# of subproblems solved = 1
Total program time (secs) = 0.03378 ( 0.027 CPU time)
Time spent in evaluations (secs) = 0.00232

=====
Convergence to an infeasible point. Problem may be locally infeasible.
objective 12484171.5; integrality gap 1e+20
1 nodes; 1 subproblem solves
```

Para desarrollar el anterior modelo con aplicación a los equipos de producción en confecciones, se utilizaron los siguientes datos representativos.

Parámetros para el modelo en el conjunto de las maquinas críticas y semi - críticas.

- Costo de mantenimiento CM: \$700.000
- Costo de la falla CF: 50.000
- Costo de repuestos CR: 2.000.000
- Costo fijo Z: \$ 535.000
- Parámetro de escala G: 106,9
- Parámetro de forma B: 0,8504
- Factor de mejora α : 0,6²⁴
- Restricción de confiabilidad mínima de los equipos Re:0,4

El valor objetivo de la solución óptima dio aproximadamente \$ 12.484.171 pesos logrando la disminución de los costos de mantenimiento.

²⁴ El valor del factor de mejora α fue acordado por la administración de la empresa, al ser los expertos en conocer el estado de envejecimiento de los equipos de producción.

Generando un cronograma de mantenimiento, una vez al año para las maquinas seleccionadas como críticas y semi - críticas y establecido por la gerencia de la empresa cada 9 meses.

Otro aspecto interesante de este modelo que se debe resaltar, es la información que genera de la edad efectiva de cada equipo, siendo una herramienta dirigida al personal de mantenimiento para diseñar un tipo de seguimiento y actividades de monitoreo para prevenir una falla inminente.

Como podemos observa en la Figura 16. Resultados Modelo de Mantenimiento.

Figura 16. Resultados Modelo Mantenimiento.

```
RESULTADOS DEL PROBLEMA
*****
total_costo =          12484171.5

Edad efectiva actual =
x [*] :=
1 2
2 1.68584
3 1.5948
4 1.37047
5 1.74518
6 1.09035
7 1.29494
8 1.93183
9 1.87221
10 1.708
11 1.54224
12 1.90748
,

Edad efeciva del periodo anterior =
y [*] :=
1 1.7722
2 1.79519
3 1.18797
4 1.74518
5 1.80296
6 1.08541
7 1.59891
8 1.93458
9 1.53866
10 1.7109
11 1.29097
12 1.19288
```

El conjunto de equipos tiene en promedio de 2 a 1 falla mensual, este tipo de fallas se pueden prevenir con el programa de mantenimiento autónomo diseñado, haciendo buena limpieza y lubricación en los equipos.

Este modelo se puede adaptar a cada componente de cada equipo mejorando la calidad de la información por medio de los registros y formatos diseñados.

Debido a la poca información que contaba la empresa se hizo el modelo de forma general, reuniendo las máquinas críticas y semi – críticas en un conjunto de equipos para realizarles el estudio.

7.2.5. Paso cinco: Diseño de indicadores de gestión

En este paso del diseño del programa de mantenimiento planificado, es necesario evaluar los resultados obtenidos en todas las etapas del mantenimiento planeado. El TPM como programa plantea una variedad de indicadores llevando un control para cada actividad, pero la filosofía indica que cada departamento debe comprender claramente sus responsabilidades y establecer metas, reduciendo o añadiendo los indicadores que se ajusten a la problemática de la empresa.

Debido al alcance del proyecto, se propondrán los indicadores más convenientes para medir el rendimiento del programa de mantenimiento en tres aspectos.

- La tabla No 22. indica la gestión del mantenimiento, evaluando la fiabilidad y Mantenibilidad de los equipos y su gestión en la eficacia de la planta.
- La tabla No 23. se indica la eficacia del trabajo de mantenimiento
- La tabla No 24. recursos utilizados para la gestión de mantenimiento.

Tabla 22. **Indicador de la gestión de mantenimiento.** ²⁵

Indicador	Formula	Intervalo	Objetivo
Frecuencia de fallos	$\frac{\text{Numero total de paradas debido a fallos}}{\text{tiempo de carga}} \%$	Mensual	Referidas a las paradas de 5 min o menos.
Tasa gravedad de fallos	$\frac{\text{Tiempo total de paradas debido a fallos}}{\text{tiempo de carga}} \%$	Mensual	Tiempo total de paradas 1h/mes
Tasa de MTTO de emergencia.	$\frac{\text{Numero de trabajos de E.M}}{\text{Numero total de trabajos P.M y E.M}} \%$	Mensual	E.M: MTTO preventivo. P.M: MTTO preventivo.
	<i>Tendencia en el numero de pequeñas paradas y tiempos muertos</i>	Media mensual	El total de pequeñas paradas y tiempos muertos de 10min
MTBF	$\frac{\text{Tiempo total de operacion}}{\text{Numero de paradas}}$	Mensual	Intervalos medio entre fallos
MTBF	$\frac{\text{Tiempo total de paradas}}{\text{Numero de paradas}}$	Mensual	Tiempo medio de reparaciones.

Con el fin de que el programa perdure en tiempo, indicando su debida realización y utilización adecuada de los recursos presupuestados.

²⁵ SUZUKI. Tokutaro, TPM en industrias de proceso. Pág. 368.

Tabla 23. Indicador de la eficiencia del trabajo en el mantenimiento²⁶.

Indicador	Formula	Intervalo	Objetivo
Tasa de logros del PM	$\frac{Tareas\ PM\ terminadas}{Tareas\ PM\ planificadas} \%$	Mensual	Indicar el nivel la planificación del mantenimiento
Tendencia del MTTO corrección.	<i>Tendencia en el logro de mantenimiento correctivo</i>	Anual	El nivel de mantenimiento correctivo indica el nivel técnico de los departamentos
Productividad de los trabajadores.	$\frac{Hora\ estandar}{Horas\ totales\ trabajadas} \%$	Mensual	Indica el nivel alcanzados por los trabajadores.
Horas programadas vs horas trabajadas	$\frac{Horas\ programadas}{Horas\ totales\ trabajadas} \%$	Mensual	Miden el cumplimiento en las tareas asignadas
Horas programadas contra horas trabajadas según programa	$\frac{Horas\ trabajadas\ segun\ el\ programa}{Horas\ totales\ trabajadas} \%$	Anual	Mide estado del programa de mantenimiento

Tabla 24. Indicador de los costos de mantenimiento²⁷.

Indicador	Formula	Intervalo	Objetivo
Tasa de costos de MTTO.	$\frac{Costo\ total\ de\ mantenimiento}{Costo\ total\ de\ produccion} \%$	anuales	Indicar la proporción de los costos de MTTO sobre los costos total
Costos de MTTO unitarios	$\frac{Costo\ de\ mantenimiento}{Volumen\ de\ prouccion} \%$	anuales	Costos de MTTO por unidad de producción
Costos de reparación de fallos inesperados	<i>Tendencia en los costos de reparación de fallos inesperados</i>	anuales	Comparación con situaciones anteriores.
Tasa de costos globales de MTTO.	$\frac{Costos\ totales\ de\ mantenimiento + Perdidas\ de\ paradas}{Costos\ totales\ de\ produccion}$	anuales	Comparación con situaciones anteriores.

²⁶ Duffuaa. Salih, Raouf A, Dixon John. Sistemas de mantenimiento Planeación y control. Pág. 296.

²⁷ SUZUKI. Tokutaro, TPM en industrias de proceso. Pág. 370.

8. CONCLUSIONES

- El resultado del análisis de la situación actual de la empresa indicó una eficiencia global de la planta del 51,6% siendo inaceptable y evidenciando importantes pérdidas económicas según la World Class manufacturing. Además de la deficiencia en los componentes del programa de mantenimiento.
- En el análisis inicial de las fallas se logró identificar los problemas que se han generado con más frecuencia en los equipos de producción, siendo puntualmente daños en el motor y rodamientos, representando el 20% de las fallas totales y el 52% de los costos de reparación causados por fallos mecánicos y eléctricos.
- El análisis estadístico del historial de los equipos, permitió observar el comportamiento de las fallas en el periodo de enero a junio 2011, dando como resultado el ajuste de un cronograma para el programa de mantenimiento. Evitando posibles daños en los equipos y a alargando su vida operacional.
- Se adoptó un modelo no lineal matemático, que permitió la aplicación a un conjunto de equipos, en él su función objetivo es reducir los costos totales de mantenimiento y se encuentra sujeto a la restricción de confiabilidad de los equipos. Se obtiene como resultado un cronograma de mantenimiento preventivo una vez al año para las maquinas seleccionadas como críticas y semi-críticas, acordado con la gerencia de producción y el personal de mantenimiento cada nueve meses; logrando disminuir los costos totales en un 24,1% pasando de \$16.446.000 a \$12.484.171. Consiguiendo aumentar la confiabilidad del 34,1% a 45% en los equipos.
- El resultado de este trabajo plantea una metodología para obtener un mejor control y seguimiento de las actividades relacionadas con el mantenimiento a los equipos, obteniendo el aumento de la confiabilidad y continuidad en el proceso.
 - Se logró sensibilizar el personal involucrado en la mantención de los equipos, desarrollando el sentido de pertenencia por sus herramientas de trabajo a nivel operacional, y demostrando mejoras cuantitativas (reducción \$3.961,829 en costos de mantenimiento) a la alta gerencia en el nuevo programa.

9. RECOMENDACIONES

- La empresa centro de formación integral cuenta con recursos muy importantes como es el personal, con una buena capacitación y direccionamiento, se sugiere a la gerencia implementar en su totalidad los pilares del TPM, logrando de esta manera incrementar Los índices de productividad y garantizando una mayor satisfacción del cliente.
- Invertir en el mejoramiento de sus activos, por medio de las nuevas tendencias como son el mantenimiento predictivo, equipando de recursos al personal para aprovechar la vida útil asignada a cada uno de los equipos logrando un rendimiento mayor.
- Los formatos de mantenimiento, rutinas y procedimientos deben ser revisados y actualizados de forma periódica con un intervalo de tiempo de 6 meses a 1 año, registrando los cambios del proceso. Estos cambios deben involucrar al personal que participa en el programa de mantención, tanto del departamento de producción como de mantenimiento, los cuales pueden aportar información muy valiosa.
- Para lograr que los objetivos planteados en el programa de mantenimiento se cumplan y permitan mejoras, se debe realizar un seguimiento que permita adaptar la organización a los cambios del proceso. En resumen el éxito del programa propuesto depende del seguimiento y cumplimiento que se haga por parte de la dirección.
- Implementar un software que permita el manejo más eficiente del flujo de información del departamento de mantenimiento para facilitar el análisis de los datos y gestión de las actividades.
- Se recomienda realizar constante supervisión al desarrollo del programa de mantenimiento autónomo, puntualmente a las actividades de limpieza y lubricación de los equipos.
- Documentar todo tipo de mantenimiento especialmente el realizado por personal externo, Registrando detalladamente lo ejecutado en los equipos por ejemplo cambios de repuestos, lubricación, sugerencias de cambio de componentes cuando ya hayan cumplido su ciclo de vida.
- Capacitar el personal de mantenimiento de producción para atender fallos leves, logrando que el técnico de mantenimiento se centre en los correctivos que exigen mayor conocimiento y habilidad, organizando un programa que tenga en cuenta prioridades.

10. BIBLIOGRAFIA

ARBELÁEZ RANGEL, Claudia Lorena. Implementación de los pilares 1 y 2 en su fase preparatoria del modelo de gestión integral basado en la técnica del mantenimiento productivo total TPM en una planta papelera: caso productora de papeles PROPAL S. A. - en el negocio de conversión en las máquinas piloto will y Jagenber. Ingeniero Industrial. Cali, Valle Del Cauca. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial y Estadística. 2004.

BORRIS, Steven. Total Productive Maintenance, Proven strategies and techniques to keep equipment running at peak efficiency.

DUFFUAA Salih, RAOUF A. Sistema de mantenimiento, Planeación y control. 2007.

DHILLON B.S. Engineering maintenance: Modern Approach. 2002.

E. EMORY Enscore, BURNS David. Dynamic scheduling of a preventive maintenance programmed.

GARCIA Eduardo, GARCIA Heriberto, CARDENAS leopoldo. Simulacion y análisis de sistemas con Promodel

GROSS John. Fundamentals of Preventive Maintenance. 2002.

H. YAMASHINAf , T. KUBO. Manufacturing cost deployment. The study was sponsored by research funds from the Ministry of Education and Science of the Japanese Government.

INSTITUTO COLOMBIANO DE CERTIFICACION Y NORMALIZACION.
Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC-ISO 1486. Bogota D.C. 2008 41 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE CERTIFICACION Y NORMALIZACION.
Referencias Bibliográficas. Contenido, Forma y Estructura. NTC-ISO 5613. Bogotá D.C. 2008. 38 p.

La colección mantenimiento industrial. Editada por Renovetec/ Santiago García Garrido 2009, basada en el libro “la contratación del mantenimiento”.

MOBLEY, Keith. Maintenance Engineering Handbook. 7^a edition.

MOTOMU, Baba. Gerencia y productividad japonesa: Aproximación total para la implementación de TQC y TPM, manual.

NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM: mantenimiento productivo total.

ORREGO CHASI, Blanca Milena. Diseño de un modelo para conocer el impacto económico generado a través de la implementación del mantenimiento productivo total TPM: caso académico. Ingeniero Industrial. Cali, Valle Del Cauca. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial y Estadística. 2005.

PALMER, Richard. Maintenance Planning and Scheduling Handbook. 2a edition. 2006.

PIEDRAHITA LÓPEZ, Eunice. Desarrollo de una aplicación de TPM en la pequeña empresa productora del sector maderero. Ingeniero Industrial. Cali, Valle Del Cauca. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial y Estadística. 2000.

PLATA, Ana María. Administración de la productividad total TPM: Marco teórico y sus herramientas.

REY SACRISTAN, Francisco. Mantenimiento total de la producción (TPM): Proceso de implementación y desarrollo. Fundación confemetal. pp. 340.

Seminario internacional TPM mantenimiento productivo total. Como instalar con éxito el TPM en su empresa a través del original proceso "TPEM"

SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Taylor and Francis, 1996. pp. 404.

TAHA, Hamdy. Investigación de Operaciones. 7ª edición. 2004.

VALLEJO ROJAS, Oscar Alejandro. Elaboración de un Modelo de Evaluación Económica de la técnica 5's en las PYME de la ciudad de Cali. Ingeniero Industrial. Cali, Valle Del Cauca. Universidad del Valle.

WILLIMOTT Peter, MCCARTHY Dennis. TPM – A Route to World Class Performance. 2001.

WIREMAN, Terry. Desarrollo de indicadores de desempeño para administración de mantenimiento.

W. J. Chen. Scheduling of jobs and maintenance in a textile company. Received: 8 November 2004 / Accepted: 25 July 2005 / Published online: 26 January 2006/ Springer-Verlag London Limited 2006.

ANEXOS.

Anexo A. (Formato actual para el registro del historial del equipo)

FORMATO DE MANTENIMIENTO Y HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS Y MAQUINAS

Nombre del equipo _____

Código _____

FECHA	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	REF. REPUESTO	TIEMPO DE REPARACIÓN	RESPONSABLE (dpto. de mantenimiento/ externos)	VALOR TOTAL DEL MANTENIMIENTO	MC	MP

MC: MANTENIMINETO CORRECTIVO

MP: MANTENIMINETO PREVENTIVO

Anexo B. (Formato propuesto para el registro del historial del equipo)

FORMATO DE MANTENIMIENTO Y HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS Y MAQUINAS

Nombre del equipo_____

Código_____

FECHA	Mantenimiento Efectuado	Repuestos y materiales	Tiempo de reparación (min)	Mano de obra	Horas de producción perdidas	Costo de mano de obra	Costo de repuestos y materiales	MC	MP

MC: MANTENIMINETO CORRECTIVO

MP: MANTENIMINETO PREVENTIVO

Anexo C. (Formato de ORDEN DE TRABAJO propuesto para el mantenimiento)

ORDEN DE TRABAJO						
Orden de trabajo núm.....		Previsión		Dpto. solicitante.....		
Fecha.....		Inicio:		Responsable.....		
Equipo núm.....		Termino:.....				
Prioridad	Emergencia ☐	Urgencia ☐	Normal ☐	Programada ☐		
El trabajo debe completarse sin interrupción sí ☐ No ☐						
Descripción general de trabajo						
Causas y consecuencias de la falla.						
Mano de obra			Materiales			
Tiempo Estimado	Tiempo Real	Descripción detallada del trabajo	Partes		Precio	
			Cantidad	Descripción	Unidad	Total
Aprobación del trabajo.....			Fecha de terminación.....			

Anexos D. (Registro del historial resumen de fallos del periodo)

[illegible]

Anexo E. Tabla de fiabilidad.

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\sigma^2 = \eta^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]$$

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	10!	$\sqrt{20! - (10!)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,486			

Anexo F. Tarjetas de anomalías⁵⁶

The image shows two maintenance anomaly cards side-by-side. The left card is red and labeled 'TARJETA Roja' and 'Mantenimiento'. The right card is blue and labeled 'TARJETA AZUL' and 'Operario'. Both cards have a circular hole at the top for a pin. They both contain the following fields: 'LUGAR DE ANORMALIDAD', 'Equipo, Modelo:', 'Fecha:', 'Encontrado por:', and 'Descripción:' followed by several horizontal lines for text entry.

Tarjeta roja. – Son las anomalías que han sido detectadas por el operador pero que no pueden ser resueltas, debido a que no están dentro de su nivel de conocimiento, esta tarjeta se deja la original en la máquina, una copia se entrega al técnico de mantenimiento la cual es su orden de trabajo y la tercera se registra en la hoja de vida de la máquina donde se podrá observar el número de inconvenientes que ha presentado.

Tarjeta azul. – Son las anomalías que han sido detectadas por el operador que pueden ser resueltas por ellos y que están de acuerdo a su nivel de conocimiento, la tarjeta original queda colocada en la máquina, la segunda tarjeta se registra en la hoja de vida del equipo.

⁵⁶ SUZUKI. Tokutaro, TPM en industrias de proceso.

La tradicional curva de "la bañera"

