

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA UN
TURBOMEZCLADOR DE 1000 LT PARA LA INDUSTRIA DE PVC**

IVÁN DARÍO GÓMEZ LEÓN

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

2017

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA UN
TURBOMEZCLADOR DE 1000 LT PARA LA INDUSTRIA DE PVC**

IVÁN DARÍO GÓMEZ LEÓN

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

Director

ALEJANDRO RESTREPO M.

Ingeniero Mecánico

Esp. Gerencia para Ingenieros

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

2017

AGRADECIMIENTOS

El autor reconoce y agradece a:

A Dios, por haber permitido la oportunidad realizar y culminar satisfactoriamente la especialización, y así continuar con mi crecimiento personal, profesional y laboral.

A mi familia, encabezada por mi esposa, padre e hijos y hermanos, quienes son la motivación más grande para seguir adelante y ser un hombre que aporte a la sociedad.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindar un programa que se ajusta a los requerimientos del mercado, por permitir relacionarme con profesionales afines y muy competentes y que de los cuales tuve la oportunidad de compartir y aprender un sinnúmero de conocimientos.

A la empresa PVC GERFOR Colombia, por haber confiado en la realización de este proyecto y permitir mi realización como profesional idóneo y competente para el ejercicio del mantenimiento aplicado a la industria manufacturera.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica y al Comité de posgrado de la Universidad Industrial de Santander, por las observaciones y retroalimentación necesaria para hacer que el presente proyecto sea un aporte al estudio y ejercicio del mantenimiento como un área de importancia en el crecimiento de los diferentes sectores de la economía donde es imprescindible su realización.

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado inicialmente a DIOS, nuestro creador y quien hace posible nuestra vida y el destino de la misma, gracias a Él pude tener la oportunidad de iniciar, cursar y finalizar el plan de estudio y poder ascender un peldaño más en la búsqueda de ser un líder para la construcción de una sociedad y un país mejor. Debo dedicar este trabajo a mi amada esposa Nelly Sosa Soler, quien es mi mano derecha en esta vida, la madre de mis hijos Ana María y Juan Sebastián quienes junto con mi padre Luis Alberto y mis hermanos Jenny Y Néstor, son la motivación más grande para querer ser una mejor persona, exitosa y competente para llegar a alcanzar una mejor calidad de vida para todos.

A mi madre, Rosa Herlinda León, quien partió de este mundo pero dejó su legado y su existencia en mí, ella está en el cielo acompañándome cada día, me guarda y me protege y me permite continuar adelante día a día en la realización de mis proyectos.

A mi equipo de trabajo en PVC Gerfor donde me he rodeado de personas comprometidas y quienes han aportado en conocimiento, experiencia y actitud para poder comprender, aceptar y realizar el ejercicio de mi carrera, es lo que escogí y allí puedo aplicarlo con gusto a pesar de las limitaciones propias de la profesión en sí misma.

A la Universidad Industrial de Santander y su programa de Especialización en Gerencia de Mantenimiento, porque me permitieron la profundización a nivel científico en el entendimiento y comprensión para un mejor desempeño, planificación y ejecución de las actividades propias de una profesión que aporta y debe ser tenida en cuenta para el adecuado desarrollo y crecimiento de las organizaciones, industrias y áreas donde es necesaria una adecuada y crítica gestión de recursos para garantizar el ciclo y la continuidad operativa de bienes y activos productivos, con esto se busca construir una mejor sociedad con mayores y mejores oportunidades para todos.

Iván Darío Gómez León.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. PVC GERFOR SA.....	17
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	17
1.2 VISIÓN, MISIÓN Y PILARES CORPORATIVOS.....	17
1.3 PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PVC GERFOR COLOMBIA.....	18
1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	19
1.5 UNIDADES PRODUCTIVAS	20
1.5.1 Silos de Materia Prima y Transporte.....	21
1.5.2 Torre de Mezclas y Preparación	21
1.5.3 Planta de Extrusión.....	22
1.5.4 Planta de Inyección Tubosistemas	24
1.5.5 Inalgrifos	24
1.6 MANTENIMIENTO EN PVC GERFOR COLOMBIA.	24
1.6.1 Proceso de Mantenimiento.	25
1.6.2 Operación y Gerencia del Mantenimiento.....	26
1.7 MEZCLA Y PREPARACIÓN DE PVC	27
1.7.1 Propósito de la Planta de Mezclas.....	27
1.7.2 Mezcla de Resina de PVC.....	28
1.8 PROCESO DE MANUFACTURA	29
1.8.1 Cloruro de Polivinilo PVC	29
1.8.2 Descripción del proceso de Mezcla.	30
1.8.3 Transporte neumático de Sólidos	30
1.8.4 Pesaje y dosificación de material.....	31
1.8.5 Aditivos líquidos y adición en la mezcla.....	31
1.8.6 Curva de Temperatura – Preparación	32
1.8.7 Enfriamiento	32
1.8.8 Almacenamiento.....	33
2. MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM).	34

2.1	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS “AMEF”.....	34
2.1.1	Contexto Operacional.....	35
2.1.2	Funciones y Niveles de Desempeño.....	35
2.1.3	Fallas Funcionales o Estados de Falla.....	35
2.1.4	Modo de falla.....	36
2.1.5	Estudio de Modo de Fallas.....	36
2.1.6	Consecuencias de las Fallas.....	37
2.1.7	Diagrama de Árbol Lógico de Decisión.....	37
2.1.8	Resultados de un Análisis de RCM.....	38
2.2	DISPONIBILIDAD.....	40
2.3	CONFIABILIDAD.....	40
2.3.1	Curva de confiabilidad.....	41
2.4	MANTENIBILIDAD.....	41
2.4.1	Curva de Mantenibilidad.....	42
3.	TURBOMEZCLADOR PLASMEC 1000 DE LA PLANTA DE MEZCLAS PVC GERFOR COLOMBIA.....	43
3.1	EQUIPOS DEL TURBOMEZCLADOR.....	44
3.1.1	Soplador.....	44
3.1.2	Tolva-Bascula.....	44
3.1.3	Olla Del Turbomezclador.....	44
3.1.4	Extractor de Humedad.....	45
3.1.5	Enfriador.....	45
3.1.6	Zaranda.....	46
4.	INFORMACIÓN HISTÓRICA DE ESTADOS OPERACIONALES, NO OPERACIONALES Y FALLOS PARA EL TURBOMEZCLADOR PLASMEC 1000 DE LA PLANTA DE MEZCLAS.....	47
4.1	REGISTROS DE MANTENIMIENTO.....	47
5.	ANÁLISIS PARETO - TURBOMEZCLADOR.....	58
5.1	DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL PARETO APLICADO.....	58
5.2	APLICACIÓN DE PARETO EN EL TURBOMEZCLADOR.....	61

6.	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL TURBOMEZCLADOR	70
6.1	COMITÉ DE CONFIABILIDAD	70
6.2	ACTIVIDADES DEL COORDINADOR DE CONFIABILIDAD.	71
6.3	ANÁLISIS WEIBULL.....	72
6.3.1	Características del Weibull	73
6.3.2	Calculo CMD – Turbomezclador.....	74
6.3.3	Calculo tiempo medio entre fallas (MTBF).....	75
6.3.4	Calculo tiempo medio entre reparaciones (MTTR)	76
6.3.5	Calculo de Disponibilidad.	77
6.4	APLICACIÓN DE AMEF EN LA TURBOMEZCLADOR.....	78
6.5	DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS Y SUB-SISTEMAS.....	79
6.6	ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA AMEF	79
6.6.1	Aplicación en hoja de trabajo y hoja de decisión RCM.	79
6.6.2	Ruta de Decisión RCM	80
6.6.3	Evaluación y Plan de Mantenimiento.....	81
6.6.4	Plan de mantenimiento propuesto para el Turbomezclador	85
6.7	PROYECCIÓN CMD CON EL RCM IMPLEMENTADO	87
7.	CONCLUSIONES.....	89
8.	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFIA.....	92
	ANEXOS.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Planta de Producción PVC Gerfor Colombia en Cota, Cundinamarca..	18
Figura 2.	Ubicación Planta de Producción PVC Gerfor Colombia en Cota	20
Figura 3.	Silos de Almacenamiento Materia Prima	21
Figura 4.	Torre de Mezclas Planta Cota.....	22
Figura 5.	Planta de Extrusión	23
Figura 6.	Organigrama Gerencia de Mantenimiento PVC Gerfor Colombia.....	25
Figura 7.	Resina de PVC	27
Figura 8.	Proceso de Fabricación de Tubería PVC.....	29
Figura 9.	Obtención del Polímero Cloruro de Vinilo	30
Figura 10.	Diagrama de decisión RCM	38
Figura 11.	Curva de confiabilidad Weibull.....	41
Figura 12.	Curva de Mantenibilidad	42
Figura 13.	Tiempo Improductivo 2016.....	56
Figura 14.	Horas Improductivas por Mes	56
Figura 15.	Análisis ABC	59
Figura 16.	Pareto comparativo antes y después de la mejora	61
Figura 17.	Pareto, Mantenimiento	65
Figura 18.	Pareto, Producción.....	68
Figura 19.	Comité de Confiabilidad	70
Figura 20.	Calculo de Confiabilidad	75
Figura 21.	Calculo de Mantenibilidad	77
Figura 22.	Sistema y Sub-Sistema del Turbomezclador	78
Figura 23.	Clasificación de Tareas.....	85
Figura 24.	Total de Tareas Gestionadas.....	86
Figura 25.	Confiabilidad con la aplicación RCM.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Improductivos Enero 2016.....	48
Tabla 2. Improductivos Febrero 2016.....	48
Tabla 3. Improductivos Marzo 2016	49
Tabla 4. Improductivos Abril 2016	49
Tabla 5. Improductivos Mayo 2016.....	50
Tabla 6. Improductivos Junio 2016.....	50
Tabla 7. Improductivos Julio 2016.....	51
Tabla 8. Improductivos Septiembre 2016	51
Tabla 9. Improductivos Octubre 2016.....	53
Tabla 10. Improductivos Noviembre 2016	55
Tabla 11. Improductivos Diciembre 2016	56
Tabla 12. Sistemas, Sub-Sistemas y componentes del Turbomezclador	61
Tabla 13. Sistemas, Sub-Sistemas y componentes del Turbomezclador	62
Tabla 14. Acumulado Mantenimiento	63
Tabla 15. Acumulado Producción.....	67
Tabla 16. Habilidades del Ingeniero de Confiabilidad.....	71
Tabla 17. Tiempo entre fallas (TBF) y reparaciones (TTR) TURBOMEZCLADOR	94

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. TIEMPO ENTRE FALLAS (TBF) Y REPARACIONES (TTR).....	94
ANEXO B. HOJA DE TRABAJO – TURBOMEZCLADOR RCM.....	96

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

CDM: Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.

Confiabilidad Operacional: la habilidad de realizar las funciones requeridas dentro de estándares operacionales aceptables por el período de tiempo especificado.

Efectividad Potencial: capaz de ser incrementada o implementada en algún grado (acción de mantenimiento).

Efectos de Falla: la consecuencia de la falla.

Elementos Significantes de Mantenimiento: Aquellos elementos de mantenimiento que son juzgados por el fabricante por ser relativamente los más importantes a partir de un punto de vista de seguridad o confiabilidad, o a partir de un punto de vista económico.

FMEA: Failure Mode and Effects Analysis.

Función: las acciones características de unidades, sistemas y aeronaves.

MGM: Manual General de Mantenimiento.

Modos de Falla: formas en las cuales unidades, sistemas y aeronaves que al deteriorarse pueden ser consideradas como que han fallado.

Monitoreo de Tripulación de Vuelo Rutinario: aquel monitoreo que es inherente a la operación normal de la aeronave. Por ejemplo, la lista de chequeo pre-vuelo, o la operación normal de la aeronave y sus componentes. No incluye el monitoreo

de equipo "de reserva" que normalmente no es considerado como parte de un vuelo normal.

Nivel Inherente de Confiabilidad y Seguridad: Es aquel nivel sobre el que se concibió y se basó la construcción de la unidad y por lo tanto es inherente a su diseño. Este es el más alto nivel de confiabilidad y seguridad que puede ser esperado a partir de una unidad, sistema, o aeronave. Para lograr mayores niveles de confiabilidad generalmente se requiere modificación o re-diseño, por parte del Fabricante.

RCM: Reliability Centered Maintenance

Reducción en Resistencia a la Falla: la deterioración de niveles inherentes de confiabilidad (diseño). A medida que la resistencia a la falla se reduce, las fallas incrementan; resultando en una confiabilidad más baja. Si la reducción en la falla puede ser detectada, el mantenimiento puede ser realizado previo al punto donde la confiabilidad es adversamente afectada.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA UN TURBOMEZCLADOR DE 1000 LT PARA LA INDUSTRIA DE PVC*

AUTOR: IVAN DARIO GOMEZ LEON**

PALABRAS CLAVES: RCM, *Reliability Centered Maintenance*, Indicadores, Mantenibilidad, Confiabilidad, Disponibilidad, Extrusión, PVC, Mezclador, Planta, Fallas, AMEF.

DESCRIPCIÓN:

La intención de este trabajo es presentar un Plan De Mantenimiento encaminado al mejoramiento de la Confiabilidad, la Disponibilidad y la Mantenibilidad de uno de los equipos críticos para los procesos productivos en la planta de PVC Gerfor Colombia ubicada en el municipio de Cota, departamento de Cundinamarca, Colombia, siendo esta compañía una de las líderes en el mercado de productos a base de PVC abasteciendo principalmente sectores de la Infraestructura y la construcción.

Es de vital importancia garantizar que el equipo Turbomezclador Plasmec1000 (1000 lt de capacidad) cuente con altos índices de confiabilidad, además se debe garantizar que la calidad del producto procesado se encuentre en los más altos estándares, haciendo extensivo el parámetro de calidad a todas las líneas de producción a la cual va a ser llevado el material a los subsecuentes procesos: Extrusión e inyección de PVC.

En PVC Gerfor la gestión productiva se mide en función del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness), la Eficacia Global de Equipos, para realizar el cálculo del OEE aún la empresa emplea el software ERP de la empresa (SIPCS) un aplicativo donde se consignan los datos referentes al comportamiento en cuanto a Calidad, rendimiento y disponibilidad presentada en cada equipo productivo de la compañía.

Posterior a la investigación requerida para la formalización de un plan de mantenimiento que atiende las necesidades operativas y los compromisos productivos para la empresa, se plantea una serie de procedimientos y actividades que buscan una mejora en los aspectos más relevantes para determinar los parámetros de eficiencia del equipo, la Calidad del material procesado y entregado a planta, el Rendimiento comparado frente al diseño de fábrica y la Disponibilidad en función de la Confiabilidad que el departamento de Mantenimiento siempre busca llevar a resultados de talla mundial.

* Monografía de especialización

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento,
Director Ingeniero Alejandro Restrepo M.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE PROGRAM BASED ON RCM FOR A TURBOMIXER OF 1000 lt FOR PVC FACTORY.*

AUTHOR: IVAN DARIO GOMEZ LEON**

KEY WORDS: *RCM, Reliability Centered Maintenance, Indicators, Maintenance, Reliability, Availability, Extrusion, PVC, Mixer Factory, Failure, AMEF.*

DESCRIPTION:

The intent of this paper is to present a maintenance plan aimed at improving the Reliability, Availability and Maintainability of one of the critical equipment for the processes of production in the PVC Gerfor Colombia plant located in the municipality of Cota, department of Cundinamarca, Colombia, this being one of the leading company in the market of PVC based products mainly supplying infrastructure and construction sectors.

It is vital to ensure that the equipment turbomixer Plasmec1000 (1000 lt capacity) it has high levels of reliability, also must ensure that the quality of the processed product is in the highest standards by extending the quality parameter to all lines production which will be brought material to subsequent processes: extrusion and injection molding of PVC.

PVC Gerfor production management is measured by the indicator OEE (Overall Equipment Effectiveness), the Global Effectiveness Team for the calculation of OEE still the company uses the ERP software company (SIPICS) an application where you entered the data concerning the behavior for quality, performance and availability presents each production company equipment.

After the research required to formalize a maintenance plan that meets the operational needs and production commitments for the company, a series of procedures and activities that seek an improvement in the most important aspects to determine the parameters of efficiency arises equipment, the quality of the processed material and delivered to the plant, the performance compared against factory design and Availability depending on the reliability that the maintenance department always seeks to bring world-class results.

* Specialization Monograph

** Faculty of Mechanical Engineering – Physical. Specialization Management of Maintenance,
Director Engineer Alejandro Restrepo M.

INTRODUCCIÓN

PVC Gerfor Colombia es una empresa ciento por ciento colombianas líderes en la producción y la comercialización de productos fabricados a partir de plástico PVC para satisfacer el mercado del manejo de aguas a nivel nacional y con presencia en más de 15 países en Centro, Sur y Norteamérica.

Principalmente la Producción de la empresa está orientada a cubrir el mercado de manejo de aguas potable, lluvias, grises y negras, cuya necesidad subyace en actividades asociadas a obras civiles de infraestructura, acueductos, distritos de riego, redes de alcantarillado, sectores de la construcción, y cubiertas, entre otros, además posee otras líneas de negocio como la fabricación y comercialización de accesorios y grifería para uso doméstico y comercial principalmente.

La demanda se concentra principalmente en la producción de Tubosistemas para alcantarillado y manejo de aguas negras, tubería sanitaria y de ventilación empleada principalmente en obras de infraestructura y proyectos de construcción de vivienda, concentrando allí cerca del 50% de la oferta y el motor de venta de la compañía, para garantizar el cumplimiento en los tiempos de entrega y con la calidad exigida tanto por los clientes como por las normas técnicas vigentes para este segmento de productos, es necesario contar con una planta de producción con altos estándares de calidad y eficiencia que puedan garantizar la continuidad del negocio y la rentabilidad esperada por socios e inversionistas, lo que deriva en la solidez de una marca reconocida, el bienestar de sus empleados y colaboradores y la satisfacción de clientes y proveedores.

Como compromiso para garantizar la productividad y todos los aspectos derivados de las buenas prácticas de manufactura y mantenimiento, se presenta a consideración un plan de mantenimiento diseñado para un equipo crítico y de vital importancia necesario para abastecer la maquinaria que realizara el procesamiento y fabricará el producto con la calidad necesaria que debe establecerse desde la mezcla misma, operación que el Turbomezclador debe realizar sin presentar mayores inconvenientes que pueden radicar en desabastecimiento de materia para las líneas de producción, o producción de deficiente calidad que puede degenerar en daños a los equipos y altos índices de material de reproceso o scrap, afectando el indicador de rentabilidad de la compañía.

1. PVC GERFOR SA.

Es una empresa colombiana con más de 45 años de presencia en el mercado nacional e internacional de productos diseñados para dar un adecuado manejo al recurso natural más importante para el sostenimiento de la humanidad: El Agua provee soluciones para el desarrollo de obras civiles y de infraestructura tales como acueductos, construcción de vivienda y edificaciones así como soluciones de consumo masivo como griferías y accesorios de plomería y cubiertas en PVC para cerrar el ciclo de manejo y canalización del recurso hídrico.

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

PVC Gerfor Colombia nació en enero de 1967 como una empresa dedicada la comercialización de griferías y accesorios, inicialmente abasteciendo el mercado local en la ciudad de Bogotá y posteriormente expandiendo sus fronteras a nivel regional, posteriormente en el año de 1978 con importantes inversiones, la empresa da un gran paso al adquirir maquinaria e iniciar la fabricación de grifos, válvulas y accesorios plásticos asimismo atendiendo el mercado desde Bogotá hacia todo el país.

1.2 VISIÓN, MISIÓN Y PILARES CORPORATIVOS

- **Visión:** GERFOR, se consolidará como la empresa colombiana número uno, líder en la producción y comercialización de tuberías, accesorios, grifería y cubiertas plásticas, en el suministro de soluciones integrales para el mercado del agua, con enfoque en los segmentos de la construcción, infraestructura y riego.
- **Misión:** Fabricamos y Comercializamos tuberías, accesorios, grifería y cubiertas plásticas con tecnologías que garantizan la calidad y funcionalidad de nuestros productos, con precios competitivos, el respeto por el medio ambiente, el desarrollo integral de nuestro equipo humano, y la completa satisfacción de

nuestros clientes; generando así bienestar, crecimiento, riqueza y rentabilidad para Colombia, accionistas y empleados en todos los países en que operamos.

- Pilares Corporativos:
 - ✓ Producto: Calidad percibida.
 - ✓ Portafolio: Brindar a nuestros clientes todos los productos necesarios para satisfacer sus necesidades.
 - ✓ Servicio: Cadena de suministro.
 - ✓ Marca: Posicionamiento.
 - ✓ Eficiencia Operativa: Plantas manufactureras y puntos de distribución.
 - ✓ Modelo de Distribución: Socios estratégicos y Desarrollo de competencias.

1.3 PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PVC GERFOR COLOMBIA

La planta de producción de PVC Gerfor Colombia fue inaugurada en el año 2007 gracias a una importante inversión realizada por la compañía en búsqueda de concentrar esfuerzos, centralizar las unidades productivas y enfocar las áreas de mercadeo y administración del negocio para obtener mayores beneficios, reducir el impacto ambiental de las operaciones, sin dejar de lado la atención personalizada a sus clientes y los medios de asistencia técnica organizados en cada región del país.

Figura 1. Planta de Producción PVC Gerfor Colombia en Cota, Cundinamarca



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

El portafolio de productos de la planta Cota está comprendido entre otros, por los siguientes productos:

- Tubería para agua potable a presión de ½” a 20” de diámetro
- Ducto para comunicaciones Conduit de ½” a 6”
- Tubería para alcantarillado doméstico de 3” a 10”
- Tubería para ventilación aguas residuales de 3” a 10”
- Tubería corrugada (Doble Pared) aguas residuales infraestructura de 6” a 36”
- Línea de grifería plástica Cromada
- Línea de grifería en aleación (Bronce)
- Cemento Solvente (soldadura) y limpiador para unión de accesorios
- Accesorios para tubería sanitaria, presión y reparaciones
- Cubierta en teja traslúcida
- Geotextiles
- Ductos para irrigación

1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Se encuentra ubicada en el corregimiento de Nueva Colonia, Municipio de Cota, Cundinamarca. Latitud: 4.743020 Longitud: -74.136792.

Figura 2. Ubicación Planta de Producción PVC Gerfor Colombia en Cota



Fuente: Google Maps en Agosto de 2016:
<https://www.google.com.co/maps/@4.7480877,-74.1350327,1393m/data=!3m1!1e3>

1.5 UNIDADES PRODUCTIVAS

Dentro de la infraestructura de planta se definen 6 divisiones productivas, cada una maneja sus indicadores y manejo de clientes internos, centros de costo, presupuesto y asignación de recurso humano:

- Silos de Almacenamiento Materia Prima y Transporte
- Torre de Mezclas y Preparación
- Planta de Extrusión
- Planta de Inyección Tubosistemas
- Planta de Inyección Grifería
- Planta de Fundición, Ensamble y Cromado Grifería
- Planta de solventes y Accesorios Manufacturados Tubosistemas
- Planta de Recuperado y reproceso
- Patios de Alistamiento y Despacho de Producto Terminado

1.5.1 Silos de Materia Prima y Transporte

Es la zona que comprende la recepción del material previamente a su alistamiento, se utiliza la técnica de transporte neumático por fase densa y diluida para realizar el llenado de los silos desde la zona de descarga de tracto camiones, con esto se disminuye el uso de montacargas, el tiempo de transporte de la materia prima se agiliza, y los pedidos de material en función de las ordenes de producción se controla más fácilmente a través del autómata que controla todo este proceso.

Figura 3. Silos de Almacenamiento Materia Prima



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

1.5.2 Torre de Mezclas y Preparación

En esta área se encuentran los equipos encargados de realizar el alistamiento de la resina antes de pasar a las diferentes plantas, desde la producción originada en esta importante área de la fábrica se deriva el éxito de los procesos Aguas Abajo que son abastecidos por los Turbomezcladores, allí se realiza la combinación con aditivos, estabilizantes, pigmentos y algunos otros productos químicos cuya dosificación depende del producto definido en la orden de producción.

Figura 4. Torre de Mezclas Planta Cota



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

1.5.3 Planta de Extrusión

En la actualidad PVC Gerfor Colombia cuenta con 27 líneas de Extrusión para la fabricación de tubería en los diferentes segmentos que el mercado exige, esta planta de extrusión a su vez se subdivide en cuatro áreas de producción, Extrusión Supraxial, Línea 01, que incorpora una novedosa técnica de orientación en tubería

a base de PVC creando productos más livianos y con una gran resistencia mecánica, usados en tuberías de Agua Potable a presión.

Desde la Línea 02 hasta la 15, se encuentra el área de producción de tuberías sólidas, allí se produce todo el portafolio de tubería de manejo de agua potable a presión, ductos para conductores eléctricos y de comunicaciones, y tuberías para uso en instalaciones hidrosanitarias, riego y ventilación. La tercera parte corresponde a las líneas de Extrusión Corrugado, donde se fabrica la producción enfocada a atender el sector de infraestructura, comprende las líneas 16 a 24 excluyendo la línea 20 que se encarga de la producción de cubiertas tipo teja. Las líneas restantes se encuentran presupuestadas para atender contingencias en ductos corrugados, sistemas de drenaje, y tuberías perfiladas de más baja rotación. La planta de extrusión comprende cerca del 65% de la producción total de la planta de Cota, absorbe la mayor cantidad de recurso humano y energético es el principal cliente de la planta de Mezclas.

Figura 5. Planta de Extrusión



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

1.5.4 Planta de Inyección Tubosistemas

Como complemento al portafolio de Tubosistemas, PVC Gerfor cuenta con una planta con capacidad instalada de 32 líneas de inyección las cuales comprenden una amplia gama de maquinaria concebida para la realización de los productos que concentran cerca del 20% de la producción total de la empresa. La diversidad y versatilidad de las inyectoras con cierres desde 135 hasta 2000 toneladas lo que permite contar con el equipo necesario para sacar adelante las exigencias requeridas por las necesidades del mercado.

1.5.5 Inalgrifos

Las plantas de Inyección Griferías, Grifería en Aleación (Fundición), Cromado y Ensamble, componen la unidad de negocio de marca Inalgrifos, con producción enfocada al volumen manteniendo una alta calidad en cada uno de los procesos. Si bien este conjunto no representa el fuerte de la producción total de la compañía, es una marca que ha destacado el posicionamiento de la compañía a través del tiempo y ha perdurado como un aliado para generar aun mayor solidez y confianza entre los más fieles y los nuevos clientes que cada día ingresan al mercado en el país.

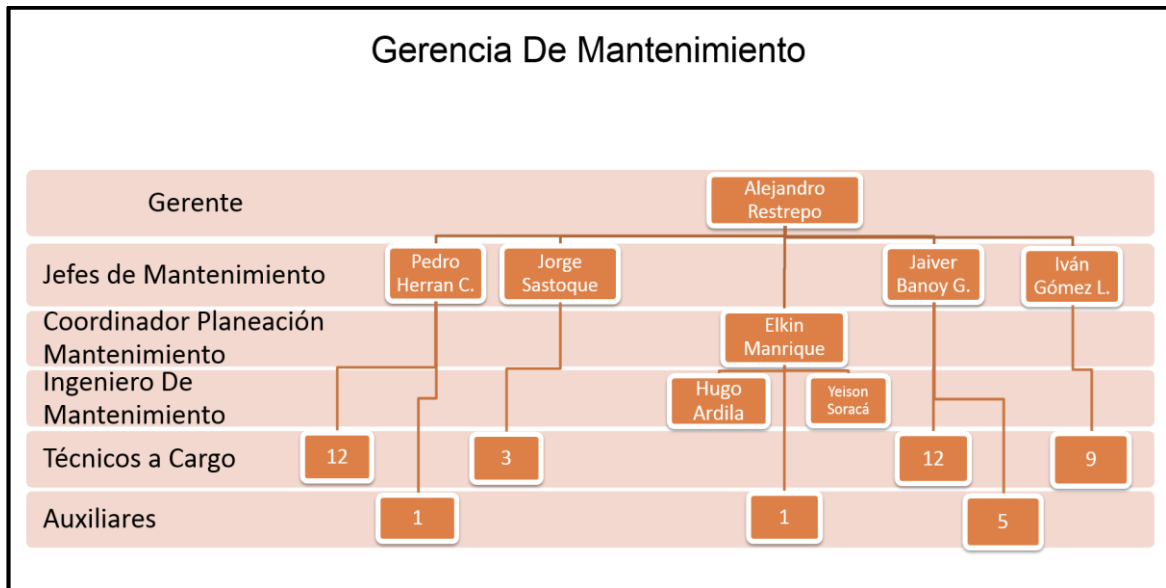
1.6 MANTENIMIENTO EN PVC GERFOR COLOMBIA.

El departamento de Mantenimiento en la actualidad está conformado por un equipo de 51 colaboradores incluyendo el personal técnico que relaciona 41 técnicos y el personal administrativo del mantenimiento que opera con 10 personas incluyendo la gerencia.

De los técnicos en la actualidad 15 realizan las labores de mantenimiento rotativo “correctivo” para las plantas de Extrusión y Mezclas y el soporte para los servicios de planta: Energía y Suministro de Agua y Aire Comprimido, otras 5 personas complementan el turno rotativo en las plantas de inyección Tubosistemas y las unidades productivas de Inalgrifos. Los otros 21 técnicos hacen parte del personal

encargado el Mantenimiento programado, el Preventivo y la realización de proyectos de mejora en la maquinaria

Figura 6. Organigrama Gerencia de Mantenimiento PVC Gerfor Colombia



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

Para atender los requerimientos de planta, el personal cuenta con la herramienta y equipos especializados para el diagnóstico, corrección y reparación de averías, cada técnico es responsable por un completa caja de herramientas, con los elementos necesarios para poder realizar sus labores garantizando la calidad de sus trabajos, además es posible acceder a herramientas especiales tales como taladros, equipos de soldadura, osciloscopio, Megóhmetro y otros, se ha dispuesto en el taller una persona responsable por el control de inventarios de herramienta y equipos especializados.

1.6.1 Proceso de Mantenimiento.

En PVC Gerfor, el proceso de mantenimiento se considera como un área de soporte al proceso productivo, el cual está directamente direccionado por la

Gerencia de Manufactura que es la responsable por el manejo de todos los procesos productivos de las diferentes plantas, aun así la gestión del mantenimiento es transversal a cada una de las unidades productivas generando sus indicadores en función de cada una de ellas, la gestión del mantenimiento se mide por las metas propuestas para cada planta, dado que todas ellas difieren entre sí, subsecuentemente, los procesos de extrusión y mezclas absorben gran cantidad del recurso del mantenimiento asimismo, las metas para el mantenimiento de estas plantas sugieren el peso más significativo dentro del sistema de gestión a nivel del mantenimiento, sin dejar de atender las unidades productivas más pequeñas.

1.6.2 Operación y Gerencia del Mantenimiento.

El departamento de mantenimiento ha implementado como estrategia para atender los requerimientos de las diferentes plantas, tres filosofías, El mantenimiento Predictivo aplicado a los equipos de mayor cuantía y que representan un peso importante en el núcleo de producción, de esta forma se realizan programas de inspección y análisis de vibraciones principalmente en motores y cajas reductoras típicamente de 30HP y superiores (hasta 150HP), acompañado de análisis termográfico tanto en maquinaria como en acometidas, subestación y transformadores de distribución, finalmente con análisis de aceites y tribología para las más relevantes. También se ha diseñado un plan de mantenimiento preventivo orientado a ejecutar rutinas de verificación, reposición y cambio de elementos basados en los diseños y sugerencias del fabricante, y la condición según la operación de cada equipo. Finalmente se cuenta con personal en turnos rotativos para soportar las tareas correctivas y de ajuste solicitadas por producción en función de los Set Up o cambios de referencia en cada línea según la demanda.

1.7 MEZCLA Y PREPARACIÓN DE PVC

1.7.1 Propósito de la Planta de Mezclas.

La fábrica de PVC Gerfor cuenta con una planta para la Mezcla y preparación de la resina de Cloruro de Poli Vinilo (PVC), la cual abastecerá según ciertas especificaciones a cada línea de producción según las referencias listadas en cada Orden de Producción.

Sin una adecuada operación de la planta de mezclas, la fábrica puede incurrir en demoras en las entregas de los pedidos a los clientes finales, una baja o mala calidad en cada uno de los productos, o un elevado nivel de reproceso (lo que implica altos costos de operación en general para la empresa).

El propósito fundamental de la planta de Mezclas es garantizar la Calidad y Cantidad de las resinas de PVC que requiere el proceso de final de conversión para el cumplimiento de las metas de producción y los compromisos con el cliente final.

Figura 7. Resina de PVC



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

1.7.2 Mezcla de Resina de PVC.

Un Turbomezclador es un equipo que opera esencialmente en función de la temperatura, el peso y el tiempo necesario para lograr la combinación de las moléculas de resina con ciertos aditivos necesarios para que el producto final cumpla con los requerimientos de resistencia, ductilidad y aspecto que son los que generalmente busca el cliente final, para el proceso de mezcla y preparación, el diagrama de procesos es el siguiente:

- El proceso inicia con la alimentación de resina desde los silos de almacenamiento
- Posteriormente el producto se pesa en tolvas que luego se presurizan para agilizar la descarga al cuerpo de la olla del mezclador.
- Mientras se hace la descarga de la resina pura, se inicia el encendido del motor principal, y a medida que va ganando velocidad se van añadiendo los demás ingredientes, siempre supervisando la temperatura del proceso.
- Cada ingrediente se adiciona a una determinada temperatura, cuando se alcanzan los 120°C o se ha excedido el tiempo máximo de ciclo (posiblemente por un fallo), se realiza la descarga desde la olla hacia el enfriador.
- Mientras se realiza el ciclo de descenso de temperatura en el enfriador, ya se está cargando nuevamente la olla, el ciclo del enfriador finaliza al alcanzar una temperatura de 45°C, o si se ha alcanzado el tiempo máximo de ciclo.
- Al finalizar el ciclo de operación, el producto se envía a silos de almacenamiento, o se empaqueta directamente en bolsas tipo Big Bag de 1ton aproximadamente.

Figura 8. Proceso de Fabricación de Tubería PVC



Fuente: Manual Programa de Calidad PVC Gerfor

1.8 PROCESO DE MANUFACTURA

1.8.1 Cloruro de Polivinilo PVC

El material empleado en la planta de PVC Gerfor Colombia es esencialmente un derivado químico extraído de la industria petroquímica, a partir de procesos como emulsión o suspensión acompañados de la electrólisis de una cierta cantidad de gas natural, petróleo o algún hidrocarburo homólogo y su combinación con cloruro de sodio (NaCl^3). Dependiendo de los procesos de obtención de la resina de PVC pueden hallarse en el mercado diferentes tipos de polímero PVC, con diferentes grados de densidad, y con composiciones poliméricas que se pueden adaptar a las necesidades de transformación de la industria manufacturera de plásticos.

³ Abreviatura de la fórmula de cloruro de sodio.

una solución ideal para el transporte de materia a nivel del suelo y con pendientes muy suaves.

Para las últimas décadas y sobre todo para la industria del plástico se incorpora la tecnología del transporte neumático de sólidos el cual comprende dos principios fundamentales con sus correspondientes tecnologías:

Transporte por fase densa, el cual usa compresores de tornillo con un importante caudal, y en el cual el material se envía empujado por la presión de trabajo del compresor, usando una carga lenta y en la que se pueden mover grandes cantidades de material en distancias largas.

La fase diluida utiliza sopladores lobulares para crear un flujo laminar más rápido, pero se debe realizar una dosificación en paquetes a través de una válvula rotativa o dosificador, en esta técnica, la cantidad de materia a mover va a ser mucho menor, pero sí de una forma rápida en trayectos mucho más cortos de tubería.

1.8.4 Pesaje y dosificación de material

Para realizar una adecuada mezcla y producto conforme es necesario contar con una correcta rutina de inspección y calibración de las celdas de carga y tornillos dosificadores que hacen parte del sistema. El material que es transportado desde los silos de almacenamiento es llevado a la tova báscula que contiene el volumen requerido para almacenar hasta 1200kg de material, y realizar hasta 3 ciclos con cargas promedio de 350kg en la olla del Turbomezclador, la dosificación y pesaje se realiza por separado en cada materia prima de la mezcla Resina y Carbonato de Calcio (CaCO_3).

1.8.5 Aditivos líquidos y adición en la mezcla.

Adicionalmente es necesario añadir algunos químicos que ayudan a que el compuesto se comporte de la manera deseada en el diseño de la fórmula,

estabilizantes, retardantes, colorantes, inhibidores de corrosión y modificadores de impacto entre otros, con los cuales se debe garantizar un producto conforme a las normas técnicas, la dosificación de estos elementos debe ser precisa y debidamente controlada usando tornillos dosificadores, celdas de carga y contenedores especiales para tal efecto.

1.8.6 Curva de Temperatura – Preparación

La preparación del compuesto requiere seguir una curva de temperatura que es ascendente en función del tiempo que el material permanece en el mezclador (olla), dependiendo de la temperatura alcanzada, se debe realizar la adición en el tiempo estimado, y en la cantidad formulada, el PLC realiza el control en función de la lectura de temperatura y de la receta programada en el software de operación del Turbomezclador.

1.8.7 Enfriamiento

La etapa final del proceso consiste en estabilizar el compuesto una vez ha alcanzado la temperatura ideal para la fusión de todos los ingredientes de la mezcla, sin embargo ésta no puede almacenarse por encima de los 45°C, razón por la cual debe ser llevada al enfriador el cual a través de un sistema de aspas y un contenedor refrigerado por agua helada a temperatura de entre 6°C y 8°C, busca reducir la temperatura en un ciclo adicional de operación que puede tardar entre 4 y 6 minutos. Sin embargo mientras una parte de la mezcla se encuentra en proceso de enfriamiento, el mezclador se encuentra ya en ciclo de producción de un nuevo batch de mezcla lista para ser llevada nuevamente al enfriador.

1.8.8 Almacenamiento.

Después de alcanzar la temperatura deseada, el material pasa por una zaranda donde se separan las partículas de tamaño más grande y que podrían afectar la densidad y flujo del compuesto en la operación de extrusión o inyección posterior, a la salida de esta zaranda se ubica otro sistema de soplado que envía a través de fase diluida el compuesto a los silos de almacenamiento dispuestos para la producción de las diferentes variedades y referencias que hacen parte del portafolio de productos que comercializa la compañía.

2. MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM).

El planteamiento de la metodología RCM⁴ para atender la necesidad de mejorar la confiabilidad y disponibilidad del equipo obedece a la relevancia que este representa para la normal operación de la planta, si bien existen equipos de back-up para la operación del Turbomezclador, la demanda de las plantas de transformación requiere que la disponibilidad del Turbomezclador alcance valores muy cercanos al 95%, un incidente por pequeño que sea, inherentemente afectará alguna de las variables del OEE⁵ del equipo, y más aún de las maquinas que reciben el producto en las etapas subsiguientes de la operación de la fábrica.

Para la implementación es necesario considerar todos y cada uno de los pasos que sugiere la metodología, de acuerdo con lo revisado durante el estudio de esta técnica, se considera como un valioso aporte para lograr un mejoramiento en los índices de disponibilidad además como una gran oportunidad para estudiar el caso de aplicación y hacerlo extensivo a otras áreas de la fábrica donde cobra relevancia mantener unos índices de confiabilidad muy altos.

2.1 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS “AMEF”.

El análisis de modos y efectos de falla es un proceso estructurado para el análisis de la operación de una planta que permitirá identificar las fallas que pudieran presentarse y que engloba las etapas de: funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla⁶. Los efectos o consecuencias de las fallas son posteriormente evaluados para determinar posibles medios de prevención. Está compuesto por:

⁴ Por sus siglas en ingles RCM (Reliability Centered Maintenance).

⁵ Por sus siglas en ingles OEE (Overall Equipment Efficiency)

⁶ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM: Las siete preguntas básicas. Edición 2004. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 7-12.

2.1.1 Contexto Operacional.

Un paso preliminar sobre el cual se basa todo el estudio y aplicación de las actividades propias del análisis es enmarcar dentro del contexto de operación del equipo las posibles incidencias, modos de operación y condiciones generales y particulares que maneje el equipo, de esta forma se puede tener un concepto cercano a la realidad del funcionamiento y condición operacional del mismo.

2.1.2 Funciones y Niveles de Desempeño.

En este punto se debe realizar una primera segregación sobre el tipo de función que puede realizar un elemento dentro del equipo, teniendo como criterio parámetros de diseño, niveles de usuario, relevancia en la operación, matriz de criticidad, etc.

Funciones primarias: Están directamente relacionadas a la razón por el cual fue adquirido un equipo; donde se establecen parámetros de operación como temperatura, presión, velocidad, entre otros.

Funciones Secundarias: se dividen en las siguientes 7 categorías: Integridad medioambiental, Integridad estructura/seguridad, control y contención, confort y estética, protección, economía y eficiencia.

2.1.3 Fallas Funcionales o Estados de Falla.

Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados que afectan la óptima operación del sistema. En ese orden de ideas una falla representa la pérdida parcial o total de alguna función primaria o secundaria del elemento, esto puede verse reflejado en una pérdida de rendimiento, una condición anormal de vibración o ruido o incluso un daño severo ocasionado por una inadecuada operación o falta de mantenimiento.

2.1.4 Modo de falla.

Esencialmente es la forma como se expone una falla, es el síntoma que presenta un elemento ya afectado, como lo es en efecto un ruido, un recalentamiento o una fatiga, en este estado, la falla ya es evidente y se requiere una acción para evitar alcanzar el modo de falla, que es el siguiente estado al que puede exponerse un equipo cuando ya evidencia daños o averías, si bien el equipo no ha perdido totalmente su funcionalidad,

2.1.5. Estudio de Modo de Fallas.

Una evaluación de las fallas históricas que ha presentado a un elemento en particular y a su vez todas aquellas fallas factibles u ocultas que se puedan presentar para evitar que sucedan, teniendo en cuenta la severidad y los efectos que estos conllevan en la producción, mantenimiento, seguridad personal, ambiental, entre otros.

Una herramienta para el análisis de fallas puede considerarse como la toma de decisiones, John Moubray plantea tres preguntas esenciales, las cuales comprenden actividades o procedimientos que deben realizarse acompañados de una serie de funciones, fallos preestablecidos de acuerdo a un modo de falla. Teniendo en cuenta la frecuencia con la que se puede presentar una falla específica y quien debe solucionarla, apoyado en el procedimiento del árbol de decisiones⁷.

Cuando un equipo bajo cualquier tipo de alteración de algún parámetro varíe el desarrollo de la actividad para la que fue diseñada, se considera una falla; por tal motivo se hace necesario analizar la condición y cuál o cuáles pueden ser sus consecuencias.

⁷ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM: Las siete preguntas básicas. Edición 2004. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 56

2.1.6 Consecuencias de las Fallas.

Las consecuencias dependerán del grado de relevancia de cada falla. Se deben clasificar según el RCM en las siguientes cuatro categorías⁸:

- Consecuencia de fallos no evidentes: son aquellos fallos que no se evidencian de forma directa, y que con el tiempo pueden degeneran en condiciones aún más críticas.
- Consecuencia en el medio ambiente y la seguridad: si en efecto puede llegar a acusar con el tiempo algún tipo de efecto sobre el medio ambiente, las personas y en general la seguridad del equipamiento y activos de la compañía.
- Consecuencias operacionales: aquellas que necesariamente causan afectación sobre la calidad, el rendimiento o la utilidad de un equipo, relativamente hablando desde el punto de vista económico y los perjuicios que se derivan de esta condición.
- Consecuencias no operacionales: Este tipo de falla afecta intrínsecamente la operación del equipo sin incurrir en perjuicio económico de la producción que éste entrega, pero si asociado al costo de mantenimiento y reparaciones.

2.1.7 Diagrama de Árbol Lógico de Decisión.

Es el conjunto de herramientas que juntas permiten seleccionar de forma óptima las actividades de acuerdo con la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

⁸ ROJAS, Deivis. Diseño de una estrategia de mantenimiento basada en RCM para la impregnadora marca Tocchio de la empresa Lamitech S.A.S. Colombia: Universidad industrial de Santander, Escuela de ingeniería mecánica. 2014.

Básicamente se busca que a partir de un proceso sistemático y una serie de pasos se realice el planteamiento lógico de un procedimiento que permita la detección temprana de fallas, si bien las fallas no se pueden evitar, la implementación del método permitirá extender el tiempo de trabajo del equipo mientras se determina y se programa una parada o un cambio usando técnicas SMED para evitar tiempos improductivos en los equipos.

Figura 10. Diagrama de decisión RCM

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL - UNC													HOJA DE DECISION RCM II		
ELEMENTO: Instalación de envasado aséptico de frascos						Realizado por: LIM1 - Fábrica						Fecha Realización: 2011			
COMPONENTE: Entrada de Máquina						Revisado por: LIM1 - Fábrica									
Envasadora de FRrascos															
Referencia Información	Evaluación de consecuencias					SI	SO	SI	SO	Tareas "a falta de"			FRECUENCIA INICIAL	REALIZA LA TAREA	
F	FF	MF	H	S	E	O	01	02	03	04	05	06			
1	A	1	S	N	N	S	S						Detección de ruidos, vibraciones, sobretemperatura y pérdidas de aceite. Estado de cables y conexiones.	Semanal	Operador del equipo
													Detección de vibraciones a través de un instrumento tipo datalogger. Medición de temperatura con termómetro infrarrojo.	Anual	Operador especializado
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		
1	A	4	S	N	N	S							Controlar alineación y limpieza de sensor.	Semanal	Operador del equipo
1	A	5	S	N	N	S							Controlar alineación y limpieza de sensor.	Semanal	Operador del equipo
1	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento programado.		

Fuente: <http://www.e2energiaeficiente.com/wp-content/uploads/2014/12/hoja-de-decision.png>

2.1.8. Resultados de un Análisis de RCM.

RCM se constituye en una poderosa herramienta práctica a partir de los análisis previos, y basado en la experiencia del equipo que se encuentre en la fase de implementación, plantea las siguientes actividades⁹:

- Tarea a condición.

⁹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM: Las siete preguntas básicas. Edición 2004. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 191

Consiste en implementar rutinas de inspección y seguimiento con cierta periodicidad, además de una férrea disciplina e interpretación, se constituye como la base del éxito de RCM, si desde el principio las actividades se ejecutan con aplomo, los resultados serán evidente en las fases subsecuentes de implementación.

- Tarea de reacondicionamiento cíclico.

Cuando el elemento se ha identificado como obsolecente y se diagnostica como cercano a su límite de ciclo de vida, se sugiere realizar tareas de reconstrucción de una o varias de sus componentes, buscando siempre extender la vida útil en función de la relevancia que el equipo tenga sobre el proceso productivo.

- Tarea de sustitución cíclica.

En este punto se establece un determinado intervalo para realizar el recambio de una pieza o elemento, sin importar a condición en la que se encuentre, por lo general el fabricante determina estos tiempos apelando al diseño, fabricación y materiales empleados de ciertos componentes o consumibles.

- Ningún mantenimiento proactivo.

Sugiere que existen elementos que no requieren una técnica de diagnóstico, ya sea porque no son relevantes para el proceso, no son críticos o tienen la opción de Back-up o porque se diseñaron como elementos fungibles para la operación del equipo.

- Rediseño obligatorio.

Para el criterio del equipo RCM un rediseño sugiere que el equipo puede llegar a ser obsoleto o que consume una cantidad de tiempo importante y a través de la experiencia y el contexto operacional establecido, una o varias partes de éste pueden ser sometidas a adaptaciones o cambios en su diseño debido a condiciones propias de la forma en cómo se opera el equipo, esto difiere según el criterio de cada equipo en cada aplicación para un mismo equipo, siempre y

cuando no se sobre pasen los límites de diseño o se descubra que éste no es el apropiado para el uso final del mismo.

2.2 DISPONIBILIDAD.

La disponibilidad es quizá el indicador más importante con el cual muchas organizaciones miden la gestión de los líderes y encargados del departamento de mantenimiento en una compañía, si bien la disponibilidad medida en el tiempo no castiga exclusivamente el tiempo perdido por fallas, es necesario que el equipo RCM ayude a determinar esos tiempos improductivos en conjunto con el área responsable de la producción, y sugerir a través de su experiencia la forma adecuada para realizar cambios de formato, sugerir un mejor aprovechamiento de los equipos y finalmente velar porque el equipo se encuentre disponible para la operación o trabajando la mayor cantidad de tiempo posible.

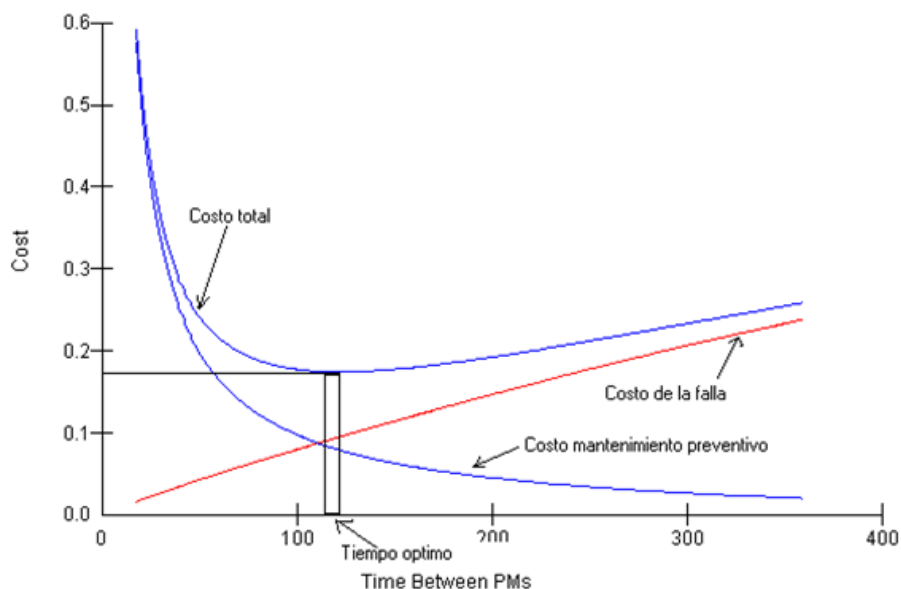
2.3 CONFIABILIDAD.

El tiempo que mantiene ocupado un equipo de mantenimiento realizando reparaciones e intervenciones sobre un elementos es clave para saber qué tan confiable es llevar a cabo una operación productiva en dicho sistema, por lo general los equipos más confiables requieren menos intervenciones sin que eso suponga que el equipo de mantenimiento se ocupe en el ocio, de hecho un equipo altamente confiable es el reflejo del trabajo y el costo que implica mantenerlo en un alto índice de productividad, sin embargo existen las excepciones a la anterior afirmación como lo supone el caso de equipos que requieren un costo de mantenimiento alto para mantener una disponibilidad aceptable, es decir son confiables pero a un costo más alto probablemente porque requieran acciones de mayor exigencia que contribuyan a optimizar los costos de mantenibilidad.

2.3.1 Curva de confiabilidad.

Es la gráfica que representa la relación entre el funcionamiento de un equipo en un intervalo t en un período T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de que transcurre un determinado tiempo t ; la otra forma de interpretarla es cuando se analizan varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente) similares que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t .

Figura 11. Curva de confiabilidad Weibull



Fuente: <https://gestionmantenimientomentefactusupq.wikispaces.com/file/view/Weibull.pptx>.

2.4 MANTENIBILIDAD

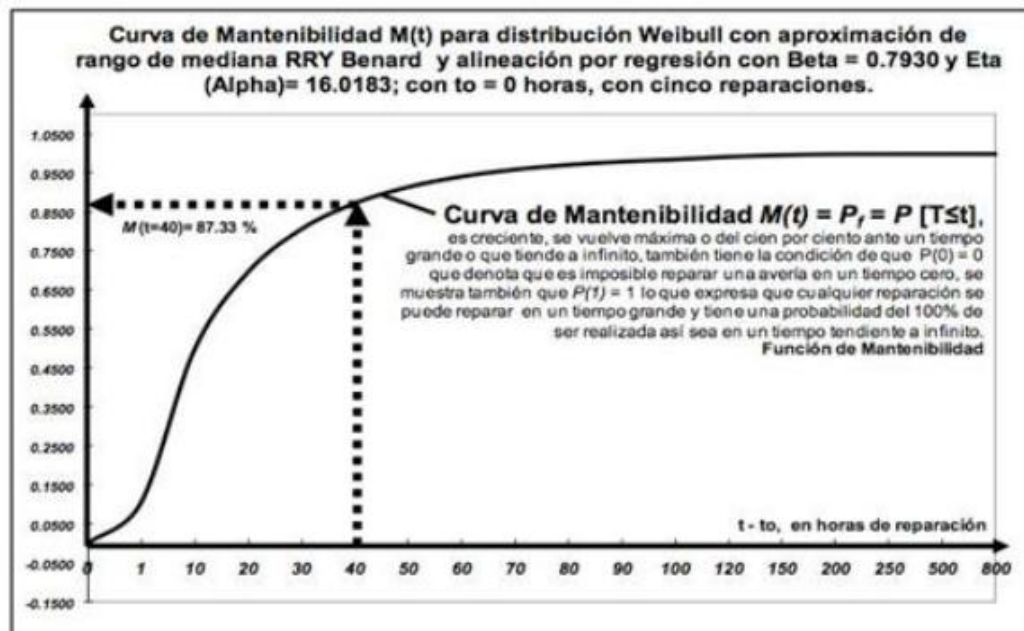
A la probabilidad de que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o

interrupción productiva (funcional o de servicio), mediante una reparación que implica la realización de unas tareas de mantenimiento, para eliminar las causas inmediatas que generan la interrupción; se le denomina mantenibilidad.

2.4.1 Curva de Mantenibilidad.

Esta función se representa por $M(t)$ e indica la probabilidad de que la función del sistema se recupere y el equipo se repare dentro de un tiempo definido t antes de un tiempo especificado total T .

Figura 12. Curva de Mantenibilidad



Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Colombia Fuentes litoFiguras Ltd. 2014.

3. TURBOMEZCLADOR PLASMEC 1000 DE LA PLANTA DE MEZCLAS PVC GERFOR COLOMBIA.

La casa Plasmec es líder en el diseño y construcción de equipos para la producción de plásticos a nivel Mundial, el Turbomezclador Tipo PL1000 se construyó en Italia en el año 2000, inicialmente contaba con un sistema de control basado en un PLC Siemens de la familia S5, el cual se actualizó el año pasado a un Siemens S7-1200, mejorando su confiabilidad y realizando una actualización para incorporar el equipo al software de gestión y control del proceso de mezcla general de la planta.

Algunas repotenciaciones y mejoras a la maquina original:

Características técnicas

- Capacidad Batch: 1000lt
- Motor de DC de 250kW con Controlador GEFTRAN
- Enfriador de 1000lt
- Capacidad de realizar doble Batch
- Control de temperatura vía Termocuplas tipo J
- Tensión de Alimentación: 3~ 380VAC

3.1 EQUIPOS DEL TURBOMEZCLADOR

3.1.1 Soplador

Un soplador de tornillo se utiliza para ayudar a realizar el transporte neumático de la resina de PVC desde los Silos de almacenamiento hacia la tolva-báscula de recepción del material, básicamente opera con un principio de funcionamiento similar al de los compresores de tornillo, si bien no suministran una elevada presión de trabajo, si son capaces de entregar grandes caudales de aire, el equipo instalado tiene procedencia de la marca AERZEN y es impulsado por un motor eléctrico de 43HP asíncrono jaula de ardilla conectado a una tensión de 440VAC a 60Hz

3.1.2 Tolva-Bascula.

Un contenedor presurizado que recibe el material fluido (pulverizado) y que posee celdas de carga para conocer la cantidad de resina que ha sido transportada desde los silos de almacenamiento, requiere el uso de vibradores para permitir una dosificación fluida. El software de control se ha diseñado para que desde este sitio se realice el control de inventarios y para calcular el rendimiento del sistema al contabilizar los movimientos en un determinado tiempo, diario o turno dependiendo del ciclo de operación, esta información se compara con el tiempo de ciclo y el visto bueno del área de calidad para obtener el indicador de calidad, factor de cálculo del OEE para el equipo.

3.1.3 Olla Del Turbomezclador.

Es el núcleo del Turbomezclador, allí se realiza la operación esencial del equipo, generar un vórtice a alta velocidad usando una serie de aspas montadas sobre un eje o árbol de transmisión asociado al motor principal a través de poleas con diámetros diferentes. El fabricante Plasmec de Italia ha diseñado este elemento para entregar producto de la más alta calidad y con el rendimiento esperado para

satisfacer una tasa de producción de aproximadamente 10 toneladas por hora, suficiente para abastecer cerca del 75% del material requerido para que la planta opere sin restricciones tanto en las líneas de extrusión como en las de inyección Tubosistemas.

En este equipo el componente más relevante es el tren motriz que gira a 2000 RPM, impulsado por un motor de corriente continua de 150kW, dos poleas de relación 1:1 con 6 correas tipo A290.

3.1.4 Extractor de Humedad

Este dispositivo es un apoyo que va montado sobre la Olla del Turbomezclador y que permite extraer aire caliente y humedad de la mezcla durante su preparación, con eso se garantiza una mayor fluidez del compuesto entregado a las líneas de producción, como resultado se obtiene una mejor densidad y un mejoramiento en la calidad del producto entregado a planta.

Básicamente es construido a partir de una cámara que guarda un volumen de aire caliente el cual es aspirado por tiro forzado usando un ventilador que succiona el volumen de aire encerrado en la olla y que posteriormente refrescara con el aire seco caliente almacenado en la cámara calefactora. Con éste equipo se busca un notable mejoramiento en la fluidez del compuesto entregado a las tolvas de alimentación de cada máquina en el proceso de transformación, una adecuada fluidez de materia afectará la densidad y el par de apriete constante en los tornillos y barriles de extrusoras e inyectoras, lo que incide en la calidad del producto enviado a despacho al cliente final.

3.1.5. Enfriador.

Este elemento permite la estabilización del material ya preparado, reducir su temperatura y ganar tiempo para la entrega a los silos de almacenamiento de

compuesto, básicamente opera a través del movimiento de un eje horizontal al cual van asociadas unos álabes que garantizan la fluidez y homogeneidad del producto allí procesado.

Éste es propulsado por un motor AC de 25kW acoplado a una caja reductora de relación 13:1, conectado a 440VAC

3.1.6. Zaranda.

Finalmente se utiliza una zaranda o tamizador el cual se encarga de separar las partículas más grandes que posiblemente no se combinaron bien durante el proceso de mezcla en el interior del Turbomezclador.

El tipo de zaranda empleada trabaja a partir de la oscilación generada por la acción de un vibrador que funciona con ruedas excéntricas colocadas en los extremos del eje de un motor asincrónico AC de 4.6kW conectado a 440V AC.

4. INFORMACIÓN HISTÓRICA DE ESTADOS OPERACIONALES, NO OPERACIONALES Y FALLOS PARA EL TURBOMEZCLADOR PLASMEC 1000 DE LA PLANTA DE MEZCLAS

El registro de las incidencias operacionales del equipo se registra en el software ERP de la compañía, en el cual se realiza el reporte de las novedades en cuanto a disponibilidad, rendimiento y calidad de los equipos que conforman cada una de las diferentes plantas.

También existe un software dedicado para el seguimiento y control de las actividades del mantenimiento, el MP9 desarrollado por la casa CASTOR el cual fue adquirido en 2015 y el que en la actualidad aún se encuentra en proceso de implementación de los módulos para las plantas de recuperados, mezclas e Inalgrifos, de allí se deriva una importante oportunidad de mejora para realizar desde la base la implementación en el software de todas las actividades relacionadas con la aplicación de los planes de mantenimiento a base de la aplicación de RCM.

4.1 REGISTROS DE MANTENIMIENTO

En el software mencionado con anterioridad, se realiza el control de los diferentes equipos de la organización con respecto a factores de fallas, disponibilidad, mantenimiento, entre otros.

Para el Turbomezclador existen registros de fallas en el software ERP desde el año 2016, los cuales son mostrados a continuación, especificando información vital como lo es la clasificación de falla, tiempo de falla y acciones de la discrepancia.

Tabla 1. Improductivos Enero 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	17/01/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	6:30	8:00	1:30	FALLA INDICADORES DE TOLVA BASCULA
630	17/01/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	13:30	14:10	0:40	FALLA INDICADORES DE TOLVA BASCULA
630	22/01/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	21:00	22:00	1:00	ARREGLO MANGUERA
630	22/01/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	22:00	23:00	1:00	CAMBIO MANGUERA TOLVA PULMON RESINA
630	23/01/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	ELECTRICO	11:50	12:15	0:25	FALLA ELECTRICA SISTEMA DE CARGA
630	29/01/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	ELECTRICO	9:30	10:00	0:30	FALLA ELECTRICA SOPLADOR
630	29/01/2016	PROBLEMA	VALVULAS	MECANICO	12:00	12:40	0:40	FALLA DESCARGUE BASCULA RESINA
Total							5:45:00	7

TIEMPO IMPRODUCTIVO	5:45:00	1%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	409:59:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD ENERO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	4	2:55:00	51%
VALVULAS	1	0:40:00	12%
PESAJE	2	2:10:00	38%
TOTAL	7	5:45:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	4	2:55:00	51%	88%
PESAJE	2	2:10:00	38%	38%
VALVULAS	1	0:40:00	12%	100%
TOTAL	3	5:45:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,24
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 2. Improductivos Febrero 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HR INICIO	HR PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	08/0/2016	PROBLEMA	VALVULAS	MECANICO	8:00	8:45	0:45	FALLA DE DESCARGA MATERIAL
630	08/02/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	19:40	20:00	0:20	FALLA DOSIFICACION TOLVA BASCULA A ENFRIADOR
630	14/02/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	3:00	4:00	1:00	FALLA BLOQUEO SOBRECARGA MEZCLADOR Y FALLA SOPLADOR
630	20/02/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	8:30	9:15	0:45	SE APAGA PANTALLA CON TROL DE MANDO
630	25/02/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	9:00	13:00	4:00	DESACOPLE TUBERIA
Total							6:50:00	5

TIEMPO IMPRODUCTIVO	6:50:00	6%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	110:09:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD FEBRERO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	2	5:00:00	73%
VALVULAS	1	0:45:00	11%
PESAJE	2	1:05:00	16%
TOTAL	5	6:50:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	2	5:00:00	73%	73%
PESAJE	2	1:05:00	16%	89%
VALVULAS	1	0:45:00	11%	100%
TOTAL	3	6:50:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,28
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR									
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS	
630	07/03/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	20:40	22:00	1:20	FALLA BOMBEO DE RESINA AL PULMON Y DE COMPUESTO A SILOS	
630	27/03/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	19:00	22:00	3:00	FALLA PLC PRINCIPAL	
630	27/03/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	22:00	6:00	8:00	FALLA PLC PRINCIPAL	
							Total	12:20:00	3

TIEMPO IMPRODUCTIVO	12:20:00	6%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	195:50:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD MARZO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	1	1:20:00	11%
PESAJE	2	11:00:00	89%
TOTAL	3	12:20:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
PESAJE	2	11:00:00	89%	89%
TRANSPORTE	1	1:20:00	11%	100%
TOTAL	3	12:20:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,51
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 4. Improductivos Abril 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR									
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS	
630	04/04/2016	PROBLEMA	VALVULAS	ELECTRICO	12:00	14:00	2:00	FALLA ELECTRICA CAMBIO DE SENSOR ESCOTILLA ENFRIADOR	
630	12/04/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	9:30	10:20	0:50	FALLA SOPLADOR	
630	19/04/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	5:40	6:00	0:20	FALLA SOPLADOR, PROBLEMAS CONTACTOR	
630	30/04/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	ELECTRICO	0:00	1:00	1:00	FALLA SISTEMA DE CARGA DE RESINA	
630	19/04/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	22:00	22:30	0:30	ESCAPE DE MANGUERA	
630	20/04/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	2:50	6:00	3:10	ESCAPE DE RESINA TUBERIA FISURADA	
630	29/04/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	9:40	10:40	1:00	CAMBIO ACOPLE. CONEXIÓN PULMON TOLVA RESINA Y MANGUERA	
							Total	8:50:00	7

TIEMPO IMPRODUCTIVO	8:50:00	11%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	77:30:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD ABRIL 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	6	6:50:00	77%
VALVULAS	1	2:00:00	23%
TOTAL	7	8:50:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	6	6:50:00	77%	77%
VALVULAS	1	2:00:00	23%	100%
TOTAL	7	8:50:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,37
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Improductivos Mayo 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	03/05/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	1:30	2:00	0:30	FALLA SOPLADOR
630	20/05/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	9:30	12:00	2:30	TUBERIA SOPLADOR SE DESACOPLA
630	31/05/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	16:15	17:15	1:00	CAMBIO Y REPARACION DE MANGUERAS TOLVARESINA Y CONEXION
Total							4:00:00	3

TIEMPO IMPRODUCTIVO	4:00:00	2%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	180:50:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD MAYO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	3	4:00:00	100%
TOTAL	3	4:00:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	3	4:00:00	100%	100%
TOTAL	7	4:00:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,17
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 6. Improductivos Junio 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	13/06/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	23:00	1:00	2:00	FALLA AL CARGAR COMPUESTOS
630	14/06/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	2:00	2:30	0:30	FALLA AL CARGAR COMPUESTOS
630	16/06/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	0:00	2:20	2:20	FALLA PLC, NO REGISTRA CONDICIONES DE BASCULAS
630	04/06/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	10:40	12:10	1:30	TUBERIA TAPADA, NO ENNVIA COMPUESTO A SILOS
630	09/06/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	7:30	8:10	0:40	ARREGLO MANGUERA DE SOPLADOR
630	13/06/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	2:10	2:40	0:30	MANGUERA ROTA DE RESINA A TURBOMEZCLADOR
630	13/06/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	14:00	15:00	1:00	ARREGLO DE MANGUERA PARA ACOPLE
Total							8:30:00	7

TIEMPO IMPRODUCTIVO	8:30:00	6%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	139:10:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	6	6:10:00	73%	73%
PESAJE	1	2:20:00	27%	100%
TOTAL	7	8:30:00		

IMPRODUCTIVIDAD JUNIO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	6	6:10:00	73%
PESAJE	1	2:20:00	27%
TOTAL	7	8:30:00	100%

DIAS EQUIVALENTES	0,35
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACIÓN	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	08/07/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECÁNICO	0:00	0:40	0:40	ARREGLO DE MANGUERA
630	14/07/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECÁNICO	15:30	16:10	0:40	CAMBIO DE MANGUERA DOSIFICADORA DE RESINA
Total							1:20:00	2

TIEMPO IMPRODUCTIVO	1:20:00	0%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	324:20:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	2	1:20:00	100%	100%
TOTAL	2	1:20:00		

IMPRODUCTIVIDAD JULIO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	2	1:20:00	100%
TOTAL	2	1:20:00	100%

DIAS EQUIVALENTES	0,06
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 8. Improductivos Septiembre 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CÓDIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACIÓN	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	06/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	10:00	12:00	2:00	FALLA SOPLADOR
630	11/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	7:50	8:40	0:50	FALLA SOPLADOR
630	11/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	16:20	18:00	1:40	FALLA SOPLADOR
630	14/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	15:00	15:00	0:00	FALLA MODULO DE PESAJE
630	14/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	16:00	16:30	0:30	FALLA MODULO DE PESAJE
630	14/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	18:15	18:35	0:20	FALLA MODULO DE PESAJE
630	14/09/2016	PROBLEMA	VALVULAS	MECANICO	15:20	17:40	2:20	FALLA VALVULAS
630	19/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	12:00	12:40	0:40	FALLA MODULO DE PESAJE

630	20/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	6:50	7:25	0:35	FALLA MODULO DE PESAJE	
630	20/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	11:00	11:30	0:30	FALLA SOPLADOR	
630	20/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	19:00	19:25	0:25	FALLA MODULO DE PESAJE	
630	21/09/2016	PROBLEMA	VALVULAS	MECANICO	23:00	23:15	0:15	FALLA MECANICA ESCOTILLA	
630	21/09/2016	PROBLEMA	VALVULAS	MECANICO	3:00	3:15	0:15	FALLA MECANICA ESCOTILLA	
630	21/09/2016	PROBLEMA	VALVULAS	ELECTRICO	12:00	12:40	0:40	FALLA TOLVA BASCULA ENFRIADOR	
630	22/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	8:50	9:20	0:30	FALLA MODULO DE PESAJE	
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS	
630	22/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	12:15	12:40	0:25	FALLA MODULO DE PESAJE	
630	23/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	10:00	11:30	1:30	FALLA DOSIFICACION ESTABILIZANTE	
630	24/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	10:30	11:15	0:45	FALLA SOPLADOR	
630	24/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	16:30	22:00	5:30	FALLA SOPLADOR	
630	26/09/2016	PROBLEMA	PESAJE	ELECTRICO	9:30	9:50	0:20	FALLA ELECTRICA MODULO DE PESAJE	
630	26/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	ELECTRICO	9:50	10:40	0:50	FALLA ELECTRICA, NO CARGA ESTABILIZANTE	
630	27/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	16:30	19:50	3:20	FALLA SOPLADOR	
630	29/09/2016	PROBLEMA	VALVULAS	ELECTRICO	9:00	10:00	1:00	FALLA ELECTRICA TOLVA PULMON	
630	26/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	3:20	4:20	1:00	ARREGLO FUGA RESINA	
630	27/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	12:00	13:00	1:00	DESACOPLE DE MANGUERA	
630	29/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	2:40	3:25	0:45	DESACOPLE DE MANGUERA	
630	29/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	3:50	6:00	2:10	DESACOPLE DE MANGUERA	
630	29/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	6:00	7:15	1:15	CAMBIO DE MANGUERA	
							Total	31:20:00	28

TIEMPO IMPRODUCTIVO	31:20:00	50%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	62:35:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD SEPTIEMBRE 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
PESAJE	10	5:15:00	17%
TRANSPORTE	13	21:35:00	69%
VALVULAS	5	4:30:00	14%
TOTAL	28	31:20:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	13	21:35:00	69%	69%
PESAJE	10	5:15:00	17%	86%
VALVULAS	5	4:30:00	14%	100%

TOTAL	28	31:20:00
--------------	----	----------

DIAS EQUIVALENTES	1,31
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 9. Improductivos Octubre 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACIÓN	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	03/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECÁNICO	12:45	13:30	0:45	FALLA TRANSPORTE RESINA
630	07/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECÁNICO	10:30	11:30	1:00	NO SUBE CARBONATO A TOLVA PULMON
630	07/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	22:00	23:00	1:00	FALLA SOPLADOR TOLVA RESINA
630	07/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	6:40	7:20	0:40	DESACOPLE DE TUBERIA QUE CARGA RESINA AL PULMON
630	09/10/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	7:00	7:30	0:30	FALLA MODULO DE PESAJE POR LA TOLVA DE CARBONATO
630	11/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	14:00	15:00	1:00	FALLA TRANSPORTE DE RESINA
630	11/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	3:10	3:55	0:45	RUPTURA TUBERIA TRANSPORTE A SILOS
630	11/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	12:15	14:00	1:45	PARADA POR ESCAPE TRANSPORTE TUBERIA A SILO
630	12/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	7:45	8:25	0:40	FALLA AL CARGAR RESINA
630	13/10/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	11:05	12:03	0:58	FALLA PESO MAXIMO TOLVA PULMON
630	13/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	19:40	20:20	0:40	FALLA SOPLADOR DE MATERIA PRIMA
630	14/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	14:00	15:00	1:00	FALLA TUBERIA DE TRANSPORTE RESINA

630	14/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	15:00	16:00	1:00	FALLA SOPLADOR MATERIA PRIMA
630	17/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	22:30	23:20	0:50	FALLA SOPLADOR MATERIA PRIMA
630	18/10/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	1:20	1:50	0:30	FALLA COMUNICACIÓN PLC
630	18/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	11:00	12:20	1:20	FALLA TRANSPORTE COMPUESTO A SILOS Y DOSIFICACION CARBONATO
630	20/10/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	4:00	5:00	1:00	FALLA EN COMUNICACIÓN PLC
630	21/10/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	6:10	7:40	1:30	FALLA MODULO DE PESAJE EN TOLVAS BASCULA CARBONATO Y COMPONENTES MENORES
630	22/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	8:00	10:00	2:00	DESACOPLE DE MANGUERA DE CONEXION TUBERIA SILOS A TOLVA PULMON RESINA
630	22/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	0:00	0:20	0:20	FALLA SOPLADOR DE MATERIAS PRIMAS MOTIVO DESOCUPADO SILO NO 6
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	24/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	ELECTRICO	7:00	7:50	0:50	FALLA ELECTRICA DE TOLVA ADITIVOS
630	24/10/2016	PROBLEMA	PESAJE	CALIBRACION	13:20	13:50	0:30	FALLA ESTABILIZANTE
630	25/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	2:40	3:10	0:30	FALLA SOPLADOR DE MATERIAS PRIMAS
630	26/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	15:35	18:00	2:25	FALLA SOPLADOR MATERIA PRIMA SE REALIZA REVISION ELECTRICA y MECANICA SE ENCONTRO FALLA POR TUBERIA DE VENTEO DEL SILO 1 TAPADA
630	27/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	22:45	23:10	0:25	FALLA SOPLADOR
630	27/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	23:20	0:00	0:40	FALLA SOPLADOR MATERIA PRIMA
630	28/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	1:00	1:40	0:40	FALLA SOPLADOR MATERIA PRIMA
630	28/10/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	9:10	10:00	0:50	FALLA SOPLADOR MATERIA PRIMA
Total							26:03:00	28

TIEMPO IMPRODUCTIVO	26:03:00	22%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	117:33:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD OCTUBRE 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
PESAJE	6	4:58:00	19%
TRANSPORTE	22	21:05:00	81%
TOTAL	28	26:03:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	22	21:05:00	81%	81%
PESAJE	6	4:58:00	19%	100%
TOTAL	28	26:03:00		

DIAS EQUIVALENTES	1,09
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 10. Improductivos Noviembre 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	01/11/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	21:00	22:30	1:30	FALLA AL CARGAR COMPUESTOS
630	05/11/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	1:00	2:30	1:30	FALLA AL CARGAR COMPUESTOS
630	07/11/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	CALIBRACION	8:00	10:00	2:00	FALLA PLC, NO REGISTRA CONDICIONES DE BASCULAS
630	12/11/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	9:40	11:10	1:30	TUBERIA TAPADA, NO ENNVA COMPUESTO A SILOS
630	13/11/2016	PROBLEMA	PESAJE	MECANICO	8:20	9:10	0:50	ARREGLO MANGUERA DE SOPLADOR
630	14/11/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	11:00	11:30	0:30	MANGUERA ROTA DE RESINA A TURBOMEZCLADOR
630	20/11/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	14:00	15:00	1:00	ARREGLO DE MANGUERA PARA ACOUPLE
Total							8:50:00	7

TIEMPO IMPRODUCTIVO	8:50:00	6%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	139:10:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD JUNIO 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	4	5:00:00	57%
PESAJE	3	3:50:00	43%
TOTAL	7	8:50:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	4	5:00:00	57%	57%
PESAJE	3	3:50:00	43%	100%
TOTAL	7	8:50:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,37
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

Tabla 11. Improductivos Diciembre 2016

TIEMPOS IMPRODUCTIVOS TURBOMEZCLADOR								
CODIGO	FECHA	CLASE	CLASIFICACION	TIPO	HORA DE INICIO	HORA DE PARADA	TIEMPO	COMENTARIOS
630	08/07/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	0:00	0:40	0:40	ARREGLO DE MANGUERA
630	19/09/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	12:00	12:40	0:40	FALLA MODULO DE PESAJE
630	14/07/2016	PROBLEMA	TRANSPORTE	MECANICO	15:30	16:10	0:40	CAMBIO DE MANGUERA DOSIFICADORA DE RESINA
Total							2:00:00	3

TIEMPO IMPRODUCTIVO	2:00:00	1%
TIEMPO IMPRODUCTIVO TOTAL	324:20:00	100%

IMPRODUCTIVIDAD DICIEMBRE 2016			
CLASIFICACION	CANTIDAD	HORA TOTAL	PORCENTAJE
TRANSPORTE	2	1:20:00	100%
TOTAL	2	1:20:00	100%

DIAGRAMA DE CORRESPONDENCIA				
TRANSPORTE	3	1:20:00	100%	100%
TOTAL	3	1:20:00		

DIAS EQUIVALENTES	0,08
--------------------------	------

Fuente: Software ERP – Informe Discrepancias Turbomezclador

RESUMEN TIEMPOS IMPRODUCTIVOS

De acuerdo a la información recolectada del 2016 con respecto a los tiempos improductivos de la máquina, se observa que los meses con menor disponibilidad de la maquina fueron durante los meses de marzo, septiembre y octubre, representaron el 11%, 27% y 22% respectivamente.

Figura 13. Tiempo Improductivo 2016

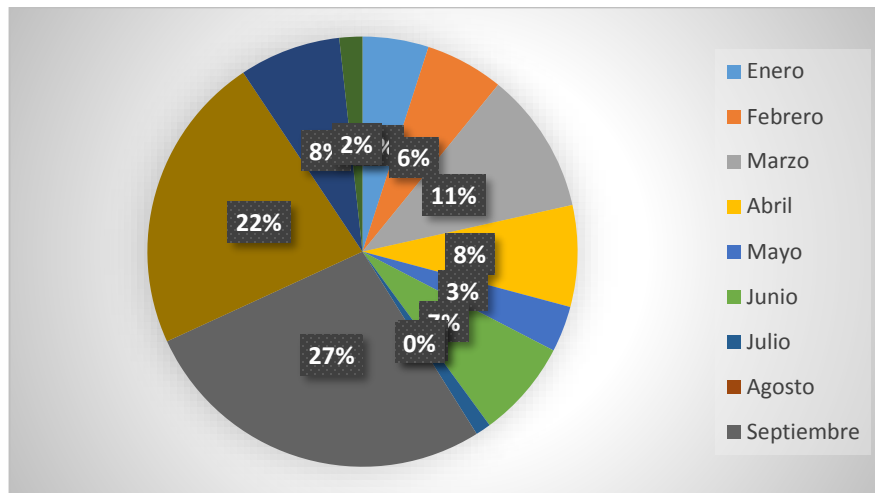
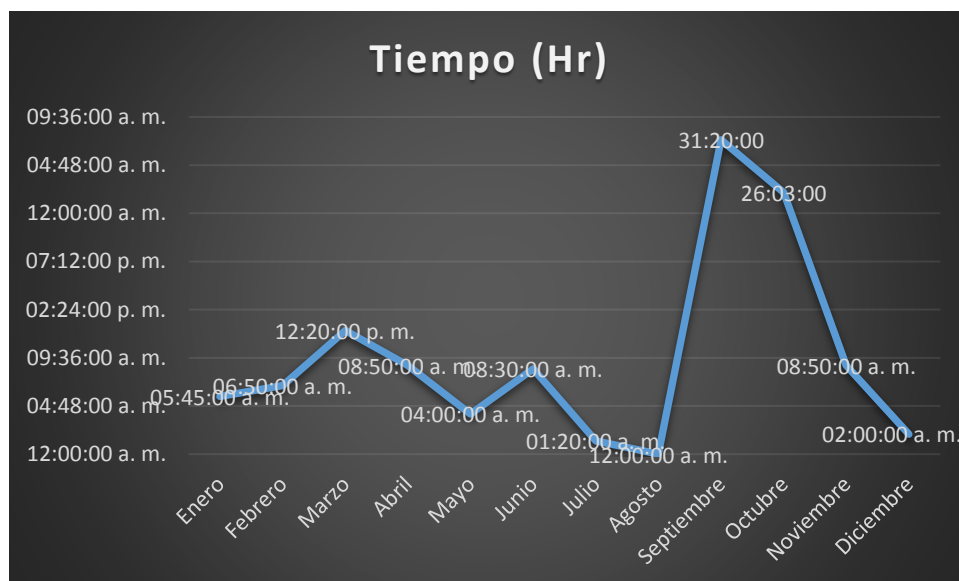


Figura 14. Horas Improductivas por Mes



Durante el año 2016 el total de horas improductivas por la maquina fue de aproximadamente 600 debido a paradas no programadas (Acciones Correctivas), lo que conllevó grandes pérdidas de producción (Aproximadamente 18,000 dólares mensual) para la organización, con esto confirmando lo importante o la necesidad de la aplicación de un mantenimiento centrado en confiabilidad para el Turbomezclador, también aclarando que es una maquina en serie en la línea de producción.

De acuerdo a los resultados se puede observar que durante los meses de febrero a abril y septiembre a noviembre se debe reforzar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con el objetivo de reforzar la confiabilidad y disponibilidad de la máquina. Cabe notar que durante los periodos mencionados el pico de producción es muy demandante.

77% de las fallas correspondieron a la categoría mecánica y un 19% a fallas eléctricas, con lo cual se tendrá como base a la hora de analizar cada sistema y sub sistema, proponiendo la acción de mantenimiento más adecuada y la cual brinde una mantenibilidad adecuada para la máquina.

5. ANÁLISIS PARETO - TURBOMEZCLADOR

Con el objetivo de proponer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad adecuado, es necesario identificar cuáles son los sistemas y sub sistemas de la máquina que inciden de forma significativas en pérdidas de producción y costos altos en su mantenimiento, por lo tanto un análisis de Pareto es la metodología más adecuada para lograr dicho objetivo.

La información requerida para el respectivo análisis son el número de fallas y costos involucrados de producción y mantenimiento por cada sistema y sub sistema. El número de fallas se determina de acuerdo a la información del capítulo anterior, donde se especifica (Columna: Comentarios), una descripción de la falla indicando el componente que presento la discrepancia, por otro lado para determinar los costos de mantenimiento, el software ERP tiene registrado los costos de mantenimiento que involucro cada falla.

Con respecto a las pérdidas de producción por cada falla se miden de acuerdo a la información del capítulo anterior, donde se especifica el tiempo de reparación de cada falla (TTR), teniendo como base un estimado de pérdidas de producción por hora de \$ 800.000 (Ochocientos mil pesos).

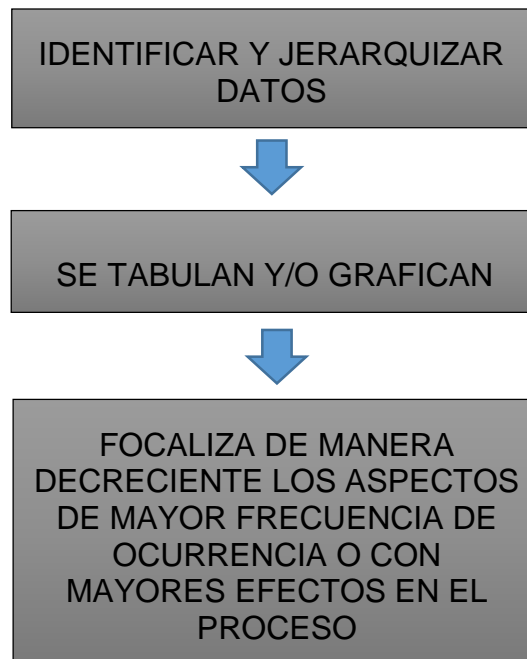
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL PARETO APLICADO

Herramienta avanzada genérica de mantenimiento para identificar, jerarquizar y comparar datos, con el fin de mostrar que elementos componen el tema que se está analizando (Turbomezclador)¹⁰.

Este permite, mediante una representación gráfica o tabular, conocida como diagrama de Pareto, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor.

¹⁰ METODOS EN CALIDAD EN Advanced Productive Solutions, S.L. Principio de Pareto URL: <http://www.ceroaverias.com/encyclopedia/centroTPM/principiopareto.htm>.

Figura 15. Análisis ABC



Fuente: METODOS EN CALIDAD EN Advanced Productive Solutions, S.L. Principio de Pareto URL: <http://www.ceroaverias.com/encyclopedy/centroTPM/principiopareto.htm>.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

- Aplicación del principio Pareto > Pocos visibles – muchos triviales. Conocido también como “regla 80/20”.
- Se centra las acciones sobre los pocos puntos VITALES, y se da poca menor importancia a los tantos asuntos TRIVIALES.
- Con una sola revisión puede identificar las situaciones que merecen mayor atención.

CONSTRUCCIÓN PASO A PASO DEL DIAGRAMA DE PARETO

Paso 1:

En el primer paso se decide la clase de problema que será investigado. Se define el cubrimiento del análisis, si se realiza a todos los sistemas del Turbomezclador o a solo a los sistemas críticos. Se decide que datos serán necesarios y la forma de como clasificarlos. Este punto es fundamental, ya que se pretende preparar la información para facilitar su estratificación posterior.

Paso 2:

Revisar la información que se tiene en el sistema de recolección de datos (Software ERP). Preparar un plan para realizar las búsquedas (sort) y la clasificación de la información que se desea. Es en este punto cuando se puede realizar la estratificación de la información sugerida anteriormente.

Paso 3:

Clasificar en orden de magnitud la información obtenida. Se recomienda indicar con letras (A,B,C,...) los temas que se han ordenado.

Paso 4:

Dibujar dos ejes verticales (izquierdo y derecho) y otro horizontal.

(1) Eje vertical.

- En el eje vertical a la izquierda se marca una escala desde 0 hasta el total acumulado.
- En el eje vertical de la derecha se marca una escala desde 0 hasta 100%

(2) Eje horizontal.

Se divide este eje en un número de intervalos de acuerdo al número de clasificaciones que se pretende realizar. Es allí donde se escribirá el tipo de avería que se ha presentado en el equipo que se estudia.

Paso 5.

Construir el diagrama de barras.

Paso 6:

Marcar con un punto los porcentajes acumulados y unir comenzando desde cero cada uno de estos puntos con líneas rectas obteniendo como resultado la curva acumulada. A esta curva se le conoce como la curva de Lorentz.

Paso 7:

Escribir notas de información del diagrama como título, unidades, nombre de la persona que elaboró el diagrama, período comprendido y número total de datos.

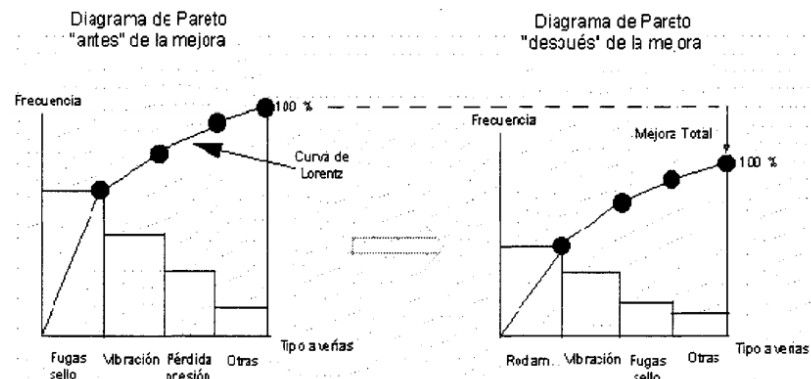
Un diagrama de Pareto es el primer paso para eliminar las averías importantes del equipo. En todo estudio los siguientes aspectos se deben tener en cuenta:

- Toda persona involucrada deberá colaborar activamente.
- Concentrarse en la variable que mayor impacto produzca en la mejora.
- Establecer una meta para la mejora.

Con la cooperación de todos se podrán obtener excelentes resultados. Uno de los objetivos del Diagrama de Pareto es el de mostrar a todas las personas las áreas prioritarias en que se deben concentrar todas las actividades y el esfuerzo del equipo.

El Diagrama de Pareto presenta claramente la magnitud relativa de los problemas y suministra a los técnicos una base de conocimiento común sobre la cual trabajar (observar la Ilustración siguiente). Una sola mirada vasta para detectar cuáles son las barras del diagrama que componen el mayor porcentaje de los problemas. La experiencia demuestra que es más fácil reducir a la mitad una barra alta que reducir una barra de reducida altura a cero.

Figura 16. Pareto comparativo antes y después de la mejora



Fuente: METODOS EN CALIDAD EN Advanced Productive Solutions, S.L. Principio de Pareto URL: <http://www.ceroaverias.com/encyclopedia/centroTPM/principiopareto.htm>.

5.2 APLICACIÓN DE PARETO EN EL TURBOMEZCLADOR

En la siguiente tabla se muestra los sistemas, sub sistemas y componentes del Turbomezclador.

Tabla 12. Sistemas, Sub-Sistemas y componentes del Turbomezclador

TURBOMEZCLADOR P1000

SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTES
SOPLADOR	SOPLADOR DE TORNILLO	BASTIDOR
		RODAMIENTOS
		ASPAS
	MOTOR TRIFÁSICO 40 HP	CORREAS DE TRANSMISIÓN
		RODAMIENTOS
		DEVANADO
LÍNEA DE TRANSPORTE	TUBERÍA	EJE
		TUBERÍA SOLIDA
		MANGUERAS
TOLVA BASCULA	TOLVA	VÁLVULAS
	BASCULA	CONTENEDOR
OLLA TURBOMEZCLADOR	OLLA	CELDAS DE CARGA
		BASTIDOR PRINCIPAL - CONTENEDOR
		ÁRBOL DE TRANSMISIÓN - EJE
		RODAMIENTOS
		CORREAS DE TRANSMISIÓN
		EXTRACTOR DE FINOS
		ASPAS - CUCHILLAS
	CONTROLADOR PLC	SENSORES DE TEMPERATURA
		CIRCUITO DE SEGURIDAD
	MOTOR PRINCIPAL	CPU
		MÓDULOS
PERIFÉRICOS		
EXTRACTOR DE HUMEDAD	EXTRACTOR	RODAMIENTOS
		EJE
	CÁMARA DE CALEFACCIÓN	DEVANADO
ENFRIADOR	ENFRIADOR	MOTOR
	CAJA DE TRANSMISIÓN	ASPAS
		BASTIDOR PRINCIPAL - CONTENEDOR
	MOTOR ENFRIADOR	RESISTENCIAS
		CONTROL
		SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
ZARANDA	ZARANDA	CORREAS DE TRANSMISIÓN
		RODAMIENTOS
		RODAMIENTOS
	MOTOR	EJE
		DEVANADO

Fuente: Manual de Mantenimiento de Turbomezclador

Tabla 13. Sistemas, sub-sistemas y componentes del Turbomezclador

Sub-Sistema	Componente	Cod	Frecuencia	Costo Total	Costo Total
-------------	------------	-----	------------	-------------	-------------

		Comp.	Falla / Año	Mantenimiento USD	Producción USD
SOPLADOR DE TORNILLO	BASTIDOR	A-1	6	\$1.285,71	\$1.190,48
	RODAMIENTOS	A-2	2	\$214,29	\$428,57
	ASPAS	A-3	9	\$6.428,57	\$3.571,43
	CORREAS DE TRANSMISIÓN	A-4	4	\$571,43	\$2.166,67
MOTOR TRIFÁSICO 40HP	DEVANADO	B-6	10	\$3.571,43	\$3.000,00
TUBERÍA	TUBERIA SOLIDA	C-8	14	\$2.500,00	\$6.238,10
	MANGUERAS	C-9	18	\$1.285,71	\$4.738,10
	VALVULAS	C-10	2	\$142,86	\$95,24
TOLVA	CONTENEDOR	D-11	1	\$142,86	\$285,71
BASCULA	CELDA DE CARGA	E-12	2	\$1.142,86	\$404,76
OLLA	BASTIDOR PRINCIPAL - CONTENEDOR	F-13	2	\$1.428,57	\$142,86
	SENSORES DE TEMPERATURA	F-19	2	\$214,29	\$619,05
CONTROLADOR PLC	CPU	G-21	6	\$10.714,29	\$4.357,14
	MODULOS	G-22	6	\$2.571,43	\$1.595,24
	PERIFERICOS	G-23	15	\$5.357,14	\$3.490,48
ENFRIADOR	BASTIDOR PRINCIPAL - CONTENEDOR	H-32	1	\$1.071,43	\$190,48
TOTAL			100	\$ 38.642,86	\$ 32.514,29

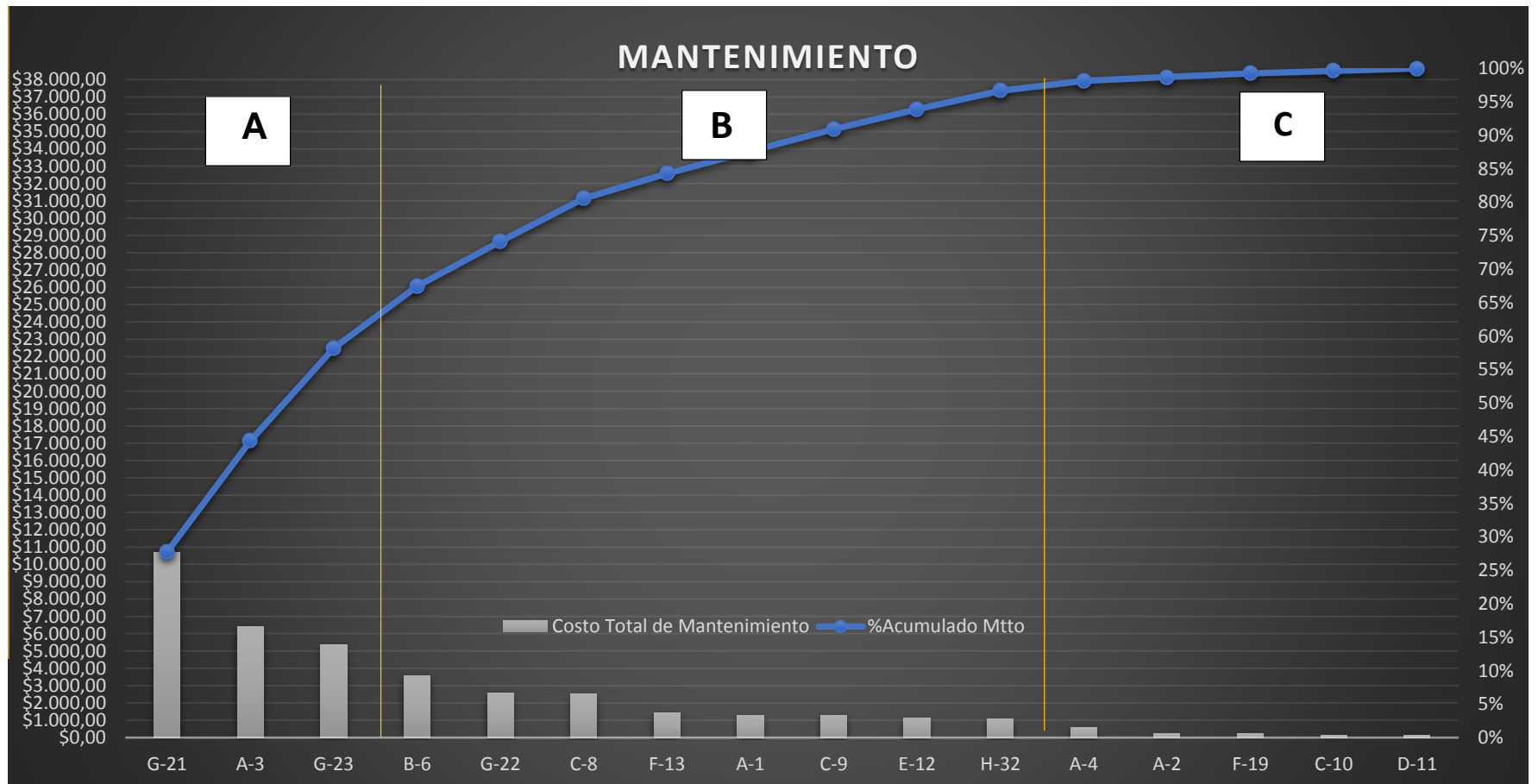
De acuerdo a la tabla anterior, son 8 sistemas de la máquina que presentaron discrepancias en el año 2016 con un total de 100 fallas que representaron aproximadamente \$ 32.514,29 (USD) en pérdidas de producción y aproximadamente \$ 38.642,86 (USD) en costos de mantenimiento no programado (Acciones Correctivas).

El sistema que más presentó fallas en el periodo establecido (34 Fallas) fue la tubería, representando aproximadamente \$ 11.071,43 (USD) en pérdidas de producción. El segundo sistema que presentó más discrepancias (27 Fallas) fue el controlador PLC y también el que más costos de mantenimiento no programado involucro con aproximadamente \$ 18.642,86 (USD).

Tabla 14. Acumulado Mantenimiento

Cod Componente	Costo Total de Mantenimiento	% Mtto	%Acumulado Mtto
G-21	\$10.714,29	28%	28%
A-3	\$6.428,57	17%	44%
G-23	\$5.357,14	14%	58%
B-6	\$3.571,43	9%	67%
G-22	\$2.571,43	7%	74%
C-8	\$2.500,00	6%	81%
F-13	\$1.428,57	4%	84%
A-1	\$1.285,71	3%	88%
C-9	\$1.285,71	3%	91%
E-12	\$1.142,86	3%	94%
H-32	\$1.071,43	3%	97%
A-4	\$571,43	1%	98%
A-2	\$214,29	1%	99%
F-19	\$214,29	1%	99%
C-10	\$142,86	0%	100%
D-11	\$142,86	0%	100%

Figura 17. Pareto, Mantenimiento



En la gráfica anterior se puede observar las zonas A, B y C, donde se concluye que los sistemas que inciden más en costos de mantenimiento son la CPU (G21) con un porcentaje acumulado del 28%, las aspas del soplador de tornillo (A3) con un porcentaje acumulado del 44% y los periféricos del controlador PLC (G23) con un porcentaje del 58%.

Con respecto a los costos de mantenimiento no programado, los sistemas mencionados anteriormente son la causa raíz de los altos costos, tanto por su frecuencia de falla como costo de reparación, por tal razón cuando se esté proponiendo el programa de mantenimiento basado en confiabilidad, estos serán sistemas críticos a gestionar con el propósito de mejorar la mantenibilidad y confiabilidad de estos sistemas.

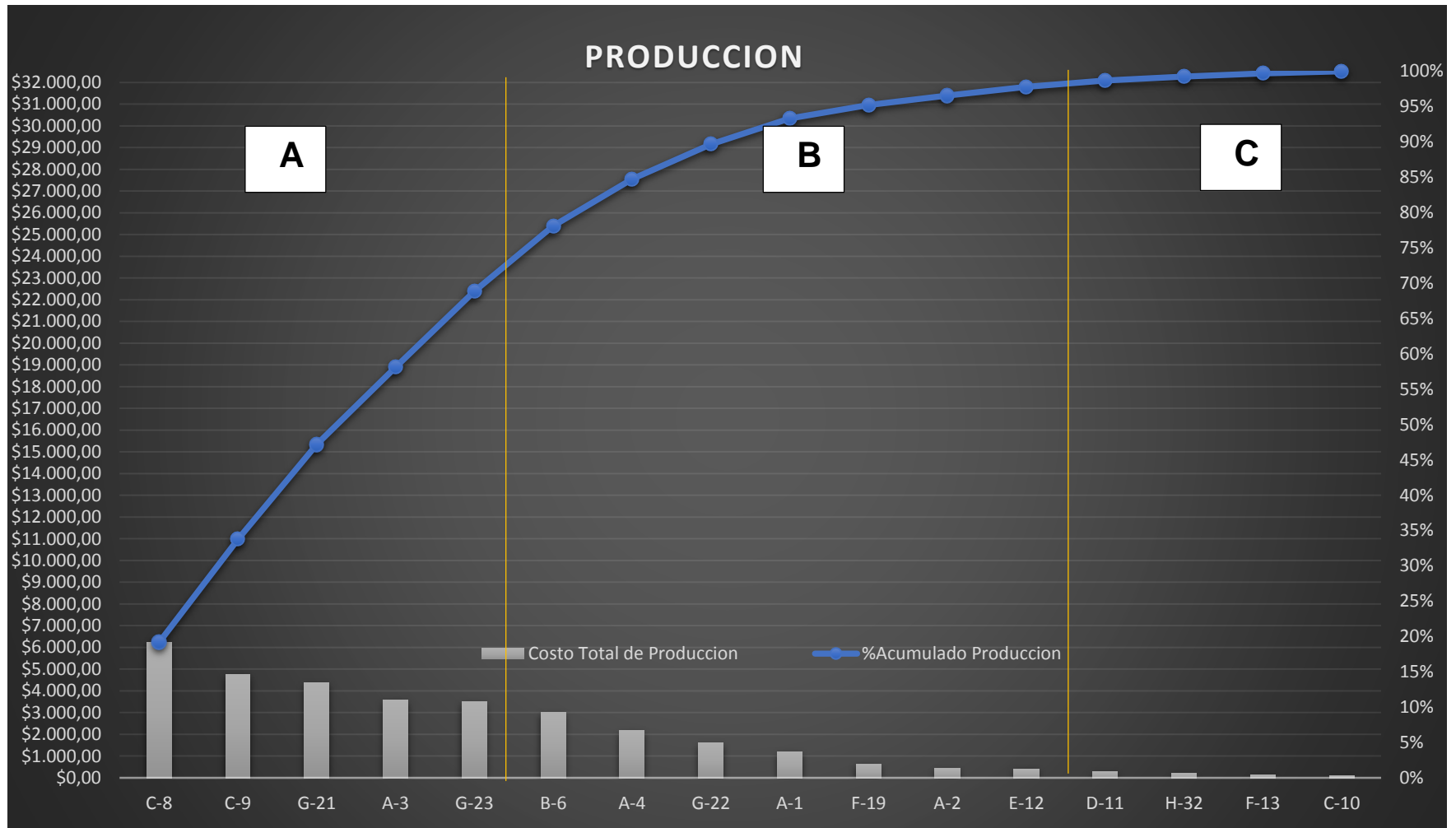
El área B de la gráfica muestra 8 sistemas que relativamente no han impactado de forma significativa a los costos de mantenimiento, como lo son el bastidor principal, celdas de carga, correas de transmisión, entre otros, sin embargo algunos de estos conllevan altos costos de mantenimiento en caso de que su frecuencia de falla aumente, factor que se tendrá en cuenta en el desarrollo del programa de mantenimiento.

Como se ha mencionado con anterioridad, no solo la identificación de los sistemas que han incidido de forma significativa en costos de mantenimiento es suficiente para tener una idea clara sobre la causa raíz en las deficiencias de la máquina, también es necesario realizar el mismo análisis pero en pérdidas por producción, el cual se lleva a cabo a continuación.

Tabla 15. Acumulado Producción

Cod Componente	Costo Total de Producción	% Producción	%Acumulado Producción
C-8	\$6.238,10	19%	19%
C-9	\$4.738,10	15%	34%
G-21	\$4.357,14	13%	47%
A-3	\$3.571,43	11%	58%
G-23	\$3.490,48	11%	69%
B-6	\$3.000,00	9%	78%
A-4	\$2.166,67	7%	85%
G-22	\$1.595,24	5%	90%
A-1	\$1.190,48	4%	93%
F-19	\$619,05	2%	95%
A-2	\$428,57	1%	97%
E-12	\$404,76	1%	98%
D-11	\$285,71	1%	99%
H-32	\$190,48	1%	99%
F-13	\$142,86	0%	100%
C-10	\$95,24	0%	100%

Figura 18. Pareto, Producción



En la gráfica anterior se puede observar las zonas A, B y C, donde se concluye que los sistemas que inciden más en costos de pérdida de producción son la tubería sólida (C8) con un porcentaje acumulado del 19%, las mangueras de la tubería (C9) con un porcentaje acumulado del 34%, CPU (G21) con un porcentaje del 47%, las aspas del soplador de tornillo (A3) con 58% y finalmente los periféricos con 69%.

Con respecto a las pérdidas de producción, los sistemas mencionados anteriormente son la causa raíz de estos altos costos, tanto por su frecuencia de falla como el tiempo que involucra la relación y que afectan la línea de producción, por tal razón cuando se esté proponiendo el programa de mantenimiento basado en confiabilidad, estos serán sistemas críticos a gestionar con el propósito de mejorar la disponibilidad y confiabilidad de estos sistemas.

El área B de la gráfica muestra 7 sistemas que relativamente no han impactado de forma significativa la producción, como lo son el motor trifásico 40 HP, módulos del controlador PLC, bastidor, sensores de temperatura, entre otros, sin embargo algunos de estos conllevan altos costos en pérdidas de producción en caso de que su frecuencia de falla aumente, factor que se tendrá en cuenta en el desarrollo del programa de mantenimiento.

En este análisis de Pareto, donde se analizó los sistemas y sub-sistemas del Turbomezclador con respecto a las pérdidas de mantenimiento y producción, se concluye que los sistemas que han influido de forma negativa en su mantenimiento y en producción son:

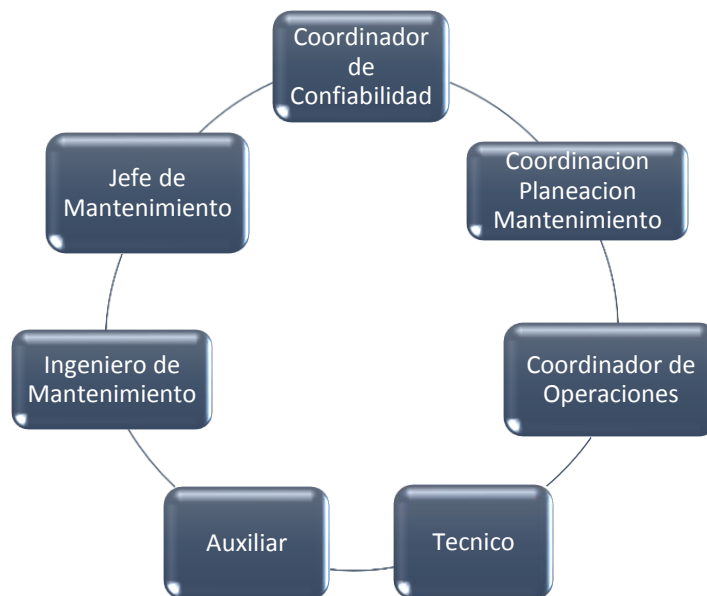
- ✓ CPU – Controlador PLC
- ✓ Periféricos – Controlador PLC
- ✓ Aspas – Soplador de Tornillo

El programa de mantenimiento se enfocara en proponer las acciones más adecuadas para mejorar los factores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de estos sistemas.

6. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL TURBOMEZCLADOR

6.1 COMITÉ DE CONFIABILIDAD

Figura 19. Comité de Confiabilidad



La conformación del comité de confiabilidad aparte de permitir a la gerencia un acceso sistemático al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que los miembros del grupo incrementan marcadamente su entendimiento del sistema o sub-sistema en su contexto operacional¹¹.

¹¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM: Las siete preguntas básicas. Edición 2004. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 273.

6.2 ACTIVIDADES DEL COORDINADOR DE CONFIABILIDAD.

El Comité de Confiabilidad trabaja bajo la dirección del coordinador en confiabilidad, es la persona más importante del proceso y su rol es asegurar que¹²:

- El análisis de confiabilidad se lleve a cabo en el nivel correcto, que los límites del sistema sean claramente definidos, que ningún ítem importante sea pasado por alto, y que los resultados del análisis sean debidamente registrados.
- La gestión de confiabilidad sea claramente comprendido y correctamente aplicado por parte de los persona del grupo.
- El comité llegue al consenso en forma rápida y ordenada, manejando el entusiasmo individual de los miembros.
- El análisis progrese razonablemente en forma rápida y termine a tiempo.

El Ingeniero de Confiabilidad como ya se había mencionado anteriormente, juega un rol importante dentro del comité RCM y debe contar con habilidades especiales, las cuales pueden ordenarse dentro de 5 categorías:

Tabla 16. Habilidades del Ingeniero de Confiabilidad

Aplicar la Lógica RCM	El Ing. RCM debe asegurar que el grupo de revisión aplica correctamente el proceso RCM. Esto implica que todas las preguntas que componen el proceso RCM son efectuadas correctamente, en la secuencia correcta, que sean comprendidas correctamente por todos los miembros del grupo y que el grupo logre consenso acerca de las respuestas.				
Dirigir el Análisis	Preparar las reuniones	Seleccionar los niveles/ definir límites	Tratar apropiadamente los modos de falla complejos	Saber cuándo dejar de listar modos de falla	Interpretar y registrar las decisiones con un mínimo lenguaje técnico
	Completar los documentos relacionados a la reunión	Preparar un archivo de auditoría	Ingresar los datos de RCM a una base de datos computarizada	Reconocer cuando el grupo no sabe	Evitar los intentos de rediseño

¹² p 275

Conducir las Reuniones	Preparar la escena	La conducta del Ing. RCM	Efectuar en orden las preguntas RCM	Asegurar que cada pregunta se comprenda correctamente	Alentar a que cada miembro participe
	Motivar al grupo	Manejar las interrupciones apropiadamente	Orientar al grupo o a los miembros individualmente	Responder las preguntas	Asegurar el consenso
Administrar el Tiempo	Ritmo de trabajo	Cantidad de reuniones efectuadas	Fecha real de finalización contra la fecha objetivo	Tiempo empleado para preparar la auditoria	Tiempo fuera de las reuniones
Administrar la Logística e Interacción con los Niveles Superiores	Preparar el proyecto RCM como un todo	Planear el proyecto	Comunicar los planes	El lugar de la reunión	Comunicar los hallazgos urgente
	Presentación a la gerencia superior	Implementación	Un programa viviente	Comunicar los progresos	Asegurar que se auditen la documentación relacionada con el RCM

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, RCM: Las siete preguntas básicas. Edición 2004. Asheville: Aladon LLC, 2004. p 274 a 280.

6.3 ANÁLISIS WEIBULL

Los criterios seleccionados para el cálculo de la disponibilidad son basados en los datos históricos que se tienen disponibles y a las expectativas de la organización, acorde a los factores que se desea controlar.

Se selecciona el cálculo de la **disponibilidad genérica**, debido a las siguientes características que son acordes al proceso de mantenimiento en PVC Gerfor.

- ✓ Disponibilidad adecuada para organizaciones que nunca han calculado el factor CMD, como lo es para la empresa PVC GERFOR.
- ✓ Las medidas tomadas en el año 2016 fueron: tiempos útiles y los de no funcionalidad, en estos últimos no se segregaron la causa, razón ni tipo.
- ✓ Este tipo de disponibilidad es apropiada para pruebas piloto.
- ✓ Los parámetros requeridos son UT y DT.

Para el análisis de distribución de fallas de la máquina, se implementara hoja de cálculo de Weibull, propuesta en el libro de Mantenimiento Industrial Efectivo por Alberto Mora.

6.3.1 Características del Weibull

- **Todos los Tipos de Datos:** El programa Weibull trabaja con todos los tipos de datos de vida, incluyendo, datos completos, censurados a la derecha (suspendidos), censurados a la izquierda o en intervalos de datos en Formato Libre, que pueden ser incorporados individualmente o en grupos.
- **Principales Distribuciones de Vida:** La hoja de cálculo utiliza varias distribuciones, incluyendo la distribución Weibull (con hasta tres parámetros), la Weibull Mixta, exponencial (con hasta dos parámetros), lognormal, normal, Gama generalizada, Gama, Logistic, Loglogistic, Gumbel y Weibull-Bayesiana. La prueba de adherencia testeará automáticamente el mejor ajuste para ayudarlo a definir la distribución más adecuada para su conjunto de datos.

Tipos de Herramientas

Análisis de Degradación: Utilice los modelos Linear, Exponencial, Potencia, Logarítmico, Gompertz o Lloyd-Lipow para extrapolar los tiempos hasta falla de equipamientos basándose en su desempeño (degradación) a lo largo del tiempo.

Análisis de Garantía: Realice análisis de datos provenientes de retornos en garantía y haga proyecciones (forecast) para períodos futuros. Permite la entrada de datos en formato Nevada Chart (matriz de garantía), tiempos hasta falla y modos de falla.

Análisis de Datos de Vida No Paramétricos: Utilice las técnicas de Kaplan-Meier, Actuarial Simples o Actuarial Estándar para realizar el análisis de datos de vida no paramétricos.

Delineando Pruebas de Confiabilidad: Determine tamaños de muestra, duración de pruebas u otras variables para pruebas de demostración de la confiabilidad.

6.3.2 Calculo CMD – Turbomezclador

El objetivo principal del cálculo CMD, es conocer el estado actual de la maquina en aspectos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de acuerdo a las fallas presentadas anteriormente. Se evaluara por medio del resultado β (Beta) el tipo de fallos que se pueden dar y a los que se les dará prioridad en el análisis de falla. A continuación se describe la forma de interpretar la variable mencionada.

$0 < \beta < 1$ Mortalidad infantil.

$\beta = 1$ Tasa de fallo constante.

Fallos aleatorios independientes del tiempo.

Errores humanos.

Errores de Mantenimiento.

Combinación de dos o tres modos de fallos diferentes.

$1 < \beta < 4$ Tasa creciente.

Implica desgastes tempranos.

Fatiga de baja frecuencia, con $\beta = 2,5$ hasta $\beta = 4$.

Fallos en rodamientos de bolas con $\beta = 2$.

Fallos en rodamientos de rodillos con $\beta = 1,5$.

Corrosión o erosión con $\beta = 3$ hasta $\beta = 4$.

Corrosión o esfuerzos con $\beta = 5$ o mayor.

Fallos en correas con $\beta = 2,5$.

4 < β Tasa decreciente.

Envejecimiento operacional.

Corrosión por esfuerzos.

Pérdida de propiedades de los materiales.

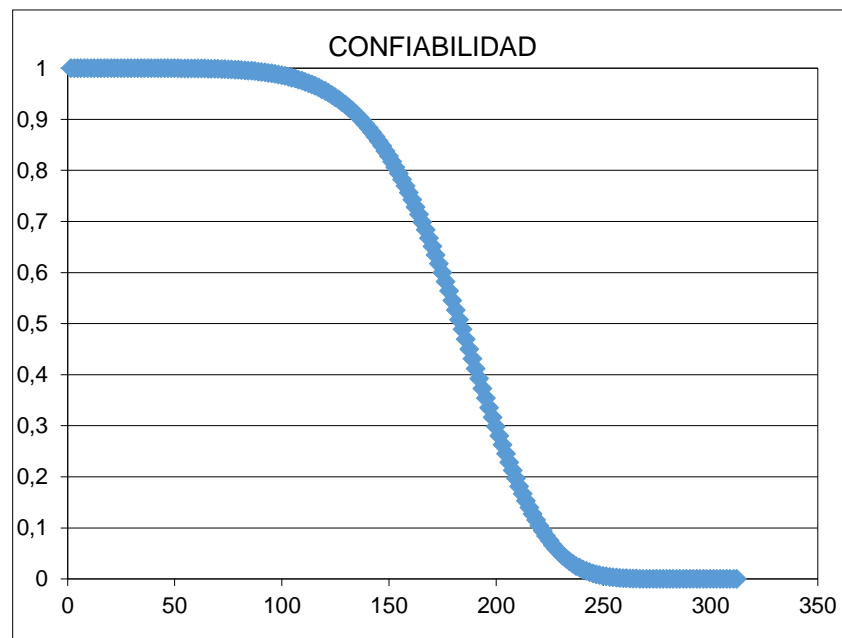
Materiales frágiles como la cerámica.

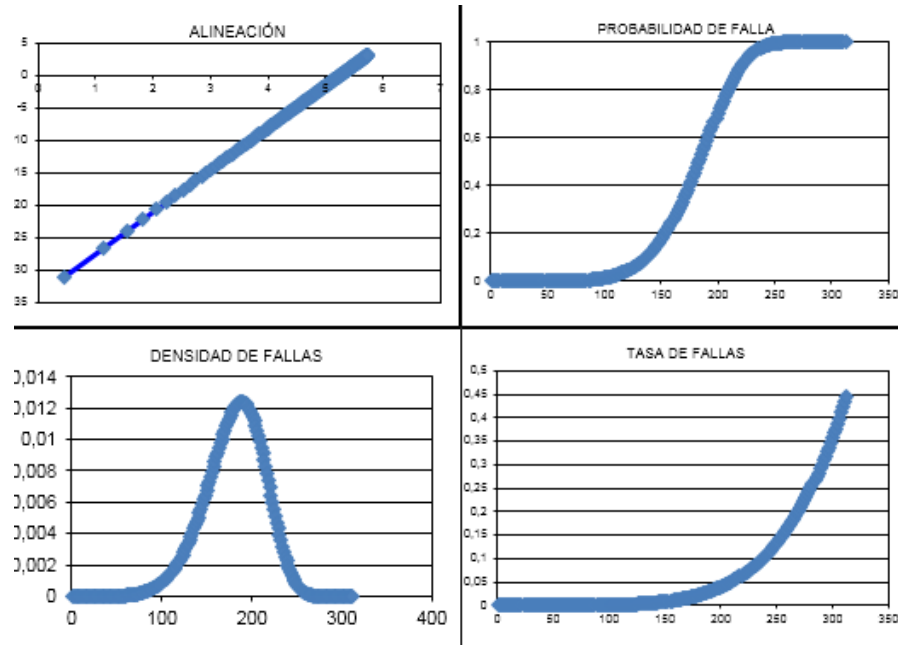
Algunos tipos de erosión.

6.3.3 Calculo tiempo medio entre fallas (MTBF)

Los tiempos tomados para el cálculo de confiabilidad (TBF) se encuentran en el anexo 1 y corresponden al año 2016.

Figura 20. Calculo de Confiabilidad





Fuente: Hoja de cálculo Weibull

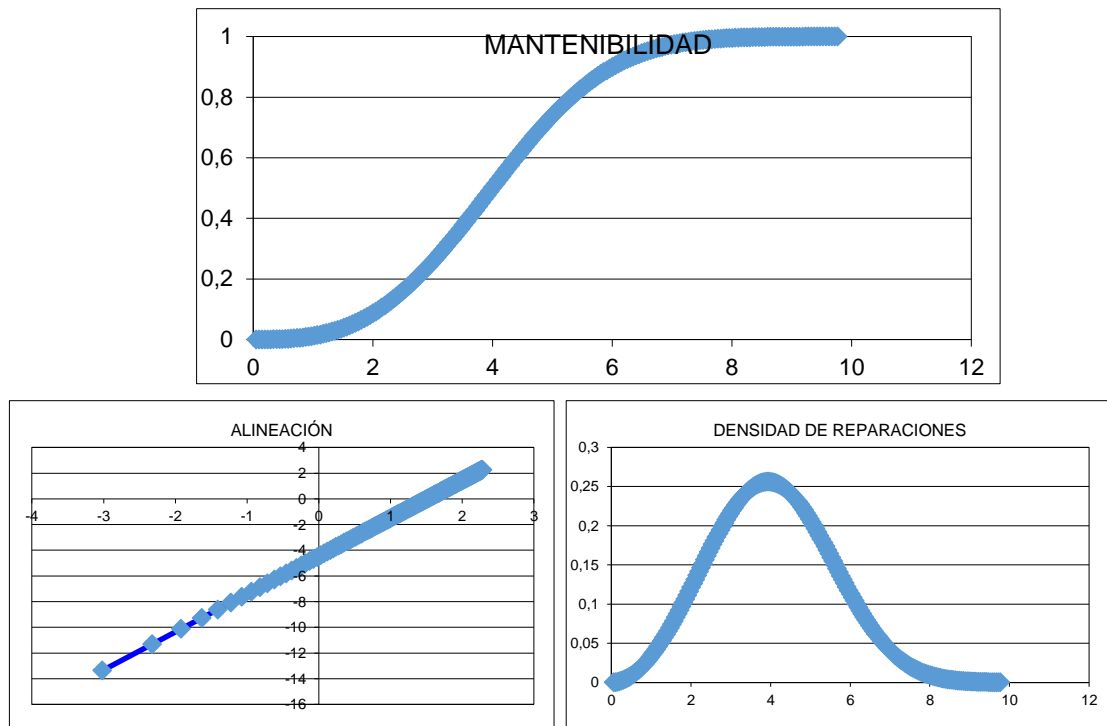
Estimación	Distribución	β	η	MTBF
Bernard	Weibull	6,455	194,05	180,74 Hrs

- ✓ El tiempo medio entre fallas (MTBF) en el periodo analizado fue de 4,04 Hrs
- ✓ β : 6,455 se evidencia que la maquina está presentando corrosión o esfuerzos.

6.3.4 Calculo tiempo medio entre reparaciones (MTTR)

Los tiempos tomados para el cálculo de mantenibilidad (TTR) se encuentran en el anexo 1 y corresponden al año 2016.

Figura 21. Calculo de Mantenibilidad



Fuente: Hoja de cálculo Weibull

Resultado de Parámetros

- ✓ El tiempo medio entre fallas (MTTR) en el periodo analizado fue de 4,04 Hrs

6.3.5 Calculo de Disponibilidad.

Teniendo el resultado del tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparaciones (MTTR), se puede calcular la disponibilidad genérica para el Turbomezclador bajo la siguiente formula:

$$DISPONIBILIDAD\ INHERENTE\ (A_i) = \frac{MTBF}{MTBF * MTTR}$$

$$A_i = \frac{180,74}{180,74 * 4,04} * 100 \% = 97,81 \%$$

6.4 APLICACIÓN DE AMEF EN LA TURBOMEZCLADOR

El Turbomezclador fue adquirido por la organización a mediados del 2015 con el objetivo cumplir los objetivos de producción para el año 2016, a continuación se muestra los sistemas y sub-sistemas de la maquina:

Figura 22. Sistema y Sub-Sistema del Turbomezclador

TURBOMEZCLADOR	
SISTEMA	SUB-SISTEMA
SOPLADOR	SOPLADOR DE TORNILLO
	MOTOR TRIFÁSICO 40 HP
LÍNEA DE TRANSPORTE	TUBERÍA
TOLVA BASCULA	TOLVA
	BASCULA
OLLA TURBOMEZCLADOR	OLLA
	CONTROLADOR PLC
	MOTOR PRINCIPAL
EXTRACTOR DE HUMEDAD	EXTRACTOR
	CÁMARA DE CALEFACCIÓN
ENFRIADOR	ENFRIADOR
	CAJA DE TRANSMISIÓN
	MOTOR ENFRIADOR
ZARANDA	ZARANDA
	MOTOR

Fuente: Manual de Mantenimiento del Turbomezclador

6.5 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS Y SUB-SISTEMAS

Para la aplicación adecuada del análisis de modo y efecto de falla, es necesario conocer las características de funcionamiento, modos de falla y actividades de mantenimiento de los diferentes sistemas con sus componentes. Esto es clave para proponer la mejor metodología de mantenimiento, en las frecuencias adecuadas, a continuación se describe la forma del respectivo análisis.

6.6 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLA AMEF

Tal como se ha expuesto anteriormente se realizara el análisis de las fallas más críticas y que puedan afectar de manera significativa la mantenibilidad y disponibilidad de la maquina trayendo como consecuencias altas perdidas en producción. Las fallas potenciales serán clasificadas por su gravedad y/o sus efectos, analizando dos factores principales, los cuales son gravedad de consecuencias y su frecuencia. Se analizaran funciones, fallas funcionales, modos y efectos de falla, una vez definido esto se pasara a los efectos y/o consecuencias de las fallas que posteriormente serán evaluados para determinar la respectiva gestión en su prevención. De acuerdo al análisis realizado se propondrá por cada sub-sistema la acción de mantenimiento más adecuada y su frecuencia de inspección.

6.6.1 Aplicación en hoja de trabajo y hoja de decisión RCM.

A lo largo del desarrollo de este proyecto, sean mostrado los sistemas y sub-sistemas más críticos y que afectan de forma significativa la línea de producción, por lo tanto a la hora de aplicar la metodología de confiabilidad se tendrán estos equipos muy en cuenta, tal como lo son la CPU, Periféricos y el soplador de tornillo.

En el análisis preliminar se obtuvo la frecuencia de fallas por cada componente de la máquina, después mediante una aplicación de Pareto, se determinó los sistemas más críticos. Finalmente, mediante el análisis de Weibull se dio a

conocer el estado actual de la máquina. Con esta información se aplica la RUTA DE DECISIÓN RCM.

6.6.2 Ruta de Decisión RCM

Una vez conociendo los modos funcionales y efectos de falla de los sub-sistemas analizados (Anexo B), se evalúa en los siguientes aspectos:

- Consecuencia de falla oculta
- Consecuencias para la seguridad o medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

En cada una de estas se preguntara lo siguiente:

1. ¿Es técnicamente factible y vale la pena realizar una tarea basada en condición?
2. ¿Es técnicamente factible y vale la pena realizar una tarea de reacondicionamiento cíclico?
3. ¿Es técnicamente factible y vale la pena realizar una tarea de sustitución cíclica?
4. ¿Es técnicamente factible y vale la pena realizar una tarea de búsqueda de fallas?

A continuación se muestran la respectiva gestión de la metodología de mantenimiento aplicada, en dos diferentes formatos, donde el primero corresponde al análisis de las fallas funcionales, modos de fallas y efectos de falla. El segundo se especifica las acciones de mantenimiento a aplicar por condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica o combinación de tareas.

6.6.3 Evaluación y Plan de Mantenimiento

Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "A falta de"			TIPO DE	Tareas Propuestas	Frec. Inicial	Responsable
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F	FF	MD	H	S	E	O										
1	A	1	S	N	N	S	S						On - Condition	Prueba de arranque del motor, prueba eléctrica, inspección visual, inspección de sensores de temperatura.	200 Hr	Técnico N2
1	A	2	S	N	N	S	S						On - Condition	Verificación de carga del eje, verificación de ajuste del eje. Lubricación de los puntos principales. Solicitar al almacén la disposición del lubricante y herramientas especiales.	200 Hr	Técnico N2
1	B	1	S	N	N	S	S						On - Condition	Verificación de nivel de aceite y tomar muestra de aceite para análisis espectrométrico en las zonas de baja y alta presión. Solicitar a Ingeniería históricos de comportamiento de los análisis de aceite.	200 Hr	Técnico N2
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución Cíclica	Realizar cambio de válvula deslizante. Durante la instalación del nuevo componente, seguir los lineamientos del fabricante.	Anual	Técnico N3
2	A	1	S	N	N	S	S						On - Condition	Inspeccionar visualmente la condición de las juntas, por desajuste (Torque 15 a 20 Lb-in), corrosión u otro tipo de discrepancia.	200 Hr	Técnico N2
2	A	2	N				N	N	N	S			Búsqueda de Falla	Se inspecciona visualmente puntos críticos del conducto por FOD, corrosión u deterioro de material de la tubería. Búsqueda de fallas.	Semestral	Técnico N2
2	B	1	S	N	N	S	S						On - Condition	Inspeccionar visualmente la condición de la tubería en su totalidad, en caso de encontrar cualquier tipo de corrosión o desgaste, proceder de acuerdo a los lineamientos del fabricante para eliminar la corrosión o zona de desgaste. Evaluar la calidad del anticorrosivo de la tubería. Con un equipo especial, medir la presión en tres puntos de la tubería.	Semestral	Técnico N2

Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "A falta de"			TIPO DE	Tareas Propuestas	Frec. Inicial	Responsable
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F	FF	MD	H	S	E	O										
3	A	1	S	N	N	S	N	S				Re-acondicionamiento cíclico	Inspeccionar visualmente conexión y estado de las celdas de carga. Calibrar celdas de carga de acuerdo a lo establecido por el fabricante. Realizar prueba funcional.	Diario	Técnico N2	
3	A	2	S	N	N	S						On - Condition	Inspeccionar tubos. Inspeccionar visualmente la condición y ajuste del aislante acústico entre la tolva y el mezclador. Medir y verificar la vibración permitida de la tolva bascula.	8.000 Hr	Técnico N3	
4	A	1	S	N	N	S	N	S				Re-acondicionamiento cíclico	Desensamble de motor e inspección por condición de los sistemas y sub-sistemas. Lavar el devanado y hornear, verificar ajustes, sustitución de baleros, prueba de resistencia de aislante, barnizar el devanado y prueba de arranque.	10.000 Hr	Técnico N3	
4	A	2	S	N	N	S	S					On - Condition	Inspeccionar visualmente la condición de las aspas y del eje principal del árbol mezclador. Realizar prueba funcional del sistema. Solicitar al almacén herramientas especiales, Tiempo aproximado de inspección 2 Hr.	1.500 Hr	Técnico N2	
4	A	3	S	N	N	S	S					On - Condition	Realizar pruebas de funcionalidad y calibración del sensor. Es un componente de rotación baja, por lo tanto solicitar al almacén el respectivo componente con prioridad alta.	2.000 Hr	Técnico N2	
4	A	4	S	N	N	S	N	S				Re-acondicionamiento cíclico	Realizar limpieza de gabinetes del PLC y conexiones de suministro eléctrico. Realizar mediciones de voltaje de acuerdo a lo estipulado en el manual del fabricante. Inspeccionar condiciones de batería y de acuerdo a los resultados reemplazar batería. Revisar cables sueltos. Revisar protección de gabinete contra tierra, humedad, aceites y otros contaminantes atmosféricos.	2.000 Hr	Técnico N2	

Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "A falta de"			TIPO DE	Tareas Propuestas	Frec. Inicial	Responsable
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F	FF	MD	H	S	E	O										
4	B	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución Cíclica	Cambiar de aspas del mezclador. Podría realizarse una prueba inspección por condición y una prueba funcional a cada aspa con el propósito de extender la vida útil de este componente, siempre y cuando sea aprobado por el fabricante. Cabe resaltar que así solo un aspa se encuentre en condiciones no funcionales, es necesario reemplazarlas a todas.	4.000 Hr	Técnico N3
4	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución Cíclica	Reemplazar correas de los sistemas por las sugeridas del fabricante. Solicitar al almacén herramientas especiales para el respectivo procedimiento.	4.000 Hr	Técnico N3
5	A	1	N				S						On - Condition	Realizar limpieza y revisión de estado de funcionalidad de aspiradores híbridos mecánicos y extractor.	2 Años	Técnico N2
5	A	2	N				N	S					Re-acondicionamiento cíclico	Cambio de resistencias, se requiere una parada de la maquina (1hr).	4.000 Hr	Técnico N3
5	A	3	S	N	N	S	S						On - Condition	Inspección visual por condición de los filtros, realizar limpieza con producto anticorrosivo de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. En caso de desgaste fuera de límites, realizar sustitución del componente.	Anual	Técnico N2
5	B	1	S	N	N	S	S						On - Condition	Inspección por condición y limpieza de los ductos de extracción. Realizar comprobación de la estanquidad aparente.	Anual	Técnico N2
5	B	2	S	N	N	S	N	S					Re-acondicionamiento cíclico	Desensamble de motor e inspección por condición de los sistemas y sub-sistemas. Lavar el devanado y hornear, verificar ajustes, sustitución de baleros, prueba de resistencia de aislante, barnizar el devanado y prueba de arranque.	10.000 Hr	Técnico N3

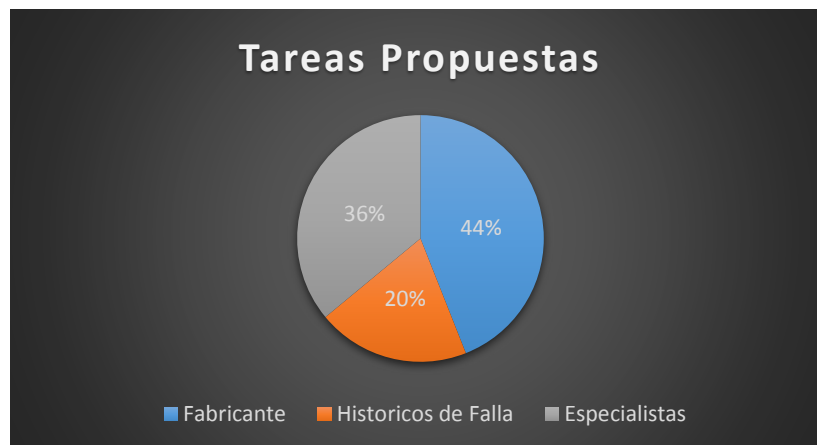
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "A falta de"			TIPO DE	Tareas Propuestas	Frec. Inicial	Responsable
							H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4				
F	FF	MD	H	S	E	O										
6	A	1	N				S						On - Condition	Inspección visual por condición de la transmisión, verificar el ajuste de los sujetadores, verificar la calidad y condición de lubricación. Ninguna discrepancia es permitida en la transmisión, en caso de encontrar alguna (Reemplazar el o los componentes necesarios).	8.000 Hr	Técnico N3
6	A	2	N				N	S					Re-acondicionamiento cíclico	Inspección y cambio de aceite del componente.	4.000 Hr	Técnico N2
7	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución Cíclica	Cambio de malla. Limpieza e inspección de la sujeción mecánica.	2.000 Hr	Técnico N2
7	B	1	S	N	N	S	N	S					Re-acondicionamiento cíclico	Realizar desensamble del motor, verificar ajustes y nivel de aceite de los acoples, sustitución de baleros, inspección visual de acoples. Prueba funcional de torque.	4.000 Hr	Técnico N2
7	B	2	S	N	N	S	S						On - Condition	Inspección visual, verificar posicionamiento de contrapesos		

6.6.4 Plan de mantenimiento propuesto para el Turbomezclador

Tal como se mostró anteriormente, se describió las tareas propuestas para cada modo de falla y también la frecuencia de cumplimiento y responsable de la ejecución. Estos criterios fueron realizados por el comité de confiabilidad, donde está compuesto por personal especialista en cada área, y de esta forma se facilitaría la selección de las mejores tareas en el plan de mantenimiento. Los criterios en la selección de cada tarea fueron:

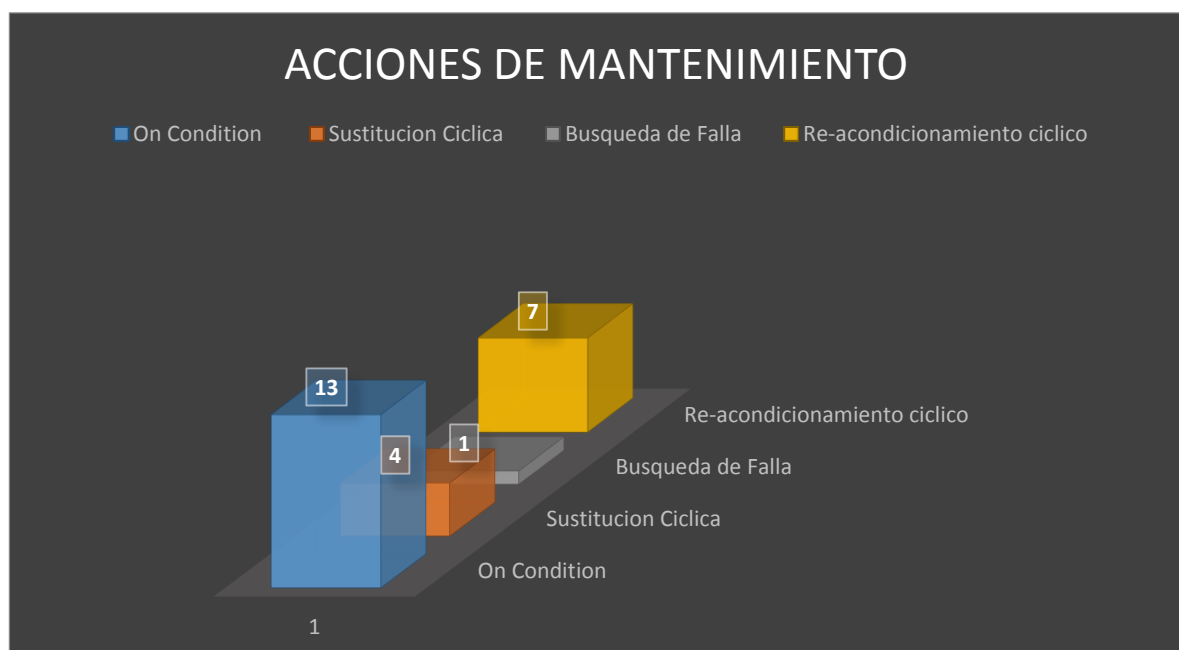
- ✓ Análisis de funciones primarias y secundarias
- ✓ Criticidad de la falla
- ✓ Costos de mantenimiento de la falla
- ✓ Costos de pérdidas en producción
- ✓ Complejidad de la tarea
- ✓ Recomendaciones del fabricante
- ✓ Históricos de falla
- ✓ Conocimientos previos en la ejecución de la tarea
- ✓ Herramientas especiales en la ejecución de la tarea
- ✓ Personal disponible
- ✓ Alineación de tiempos de inspección para no afectar la disponibilidad

Figura 23. Clasificación de Tareas



Veinticinco tareas de mantenimiento fueron propuestas para el Turbomezclador, donde el 44% fueron basadas en las recomendaciones del fabricante, 36% fueron propuestas basadas en el conocimiento y experiencia del personal técnico de la planta que tenía contacto directo con la máquina, y finalmente por históricos de falla, el 20% de las tareas se gestionaron basadas en estos datos.

Figura 24. Total de Tareas Gestionadas



De acuerdo a los resultados anteriores el 52% de las tareas propuestas son On-Condition, 28% pertenecen a tareas de reacondicionamiento cíclico, 16% sustitución cíclica y finalmente un 4% búsqueda de fallas.

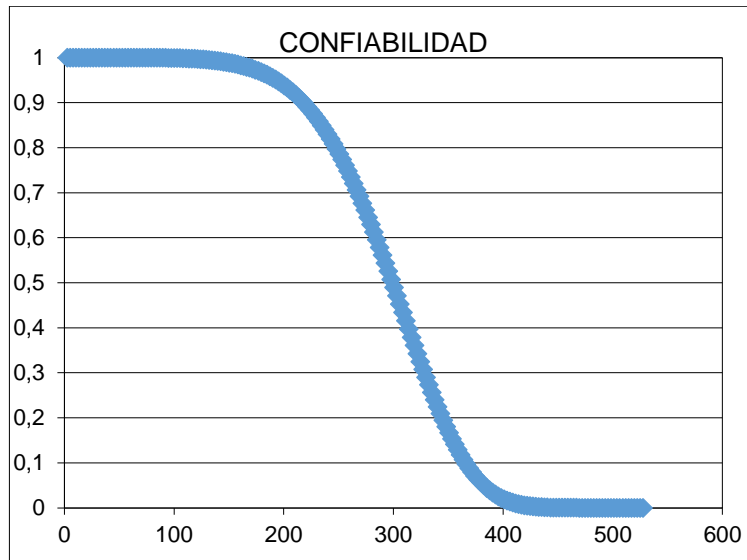
6.7 PROYECCIÓN CMD CON EL RCM IMPLEMENTADO

Una vez aplicado el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, se espera que los factores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, mejoren significativamente, por tal razón PVC GERFOR se propondrá como objetivo aumentar los tiempos de producción y disminuir los tiempos de mantenimiento y logística. A continuación se presenta una simulación de los tiempos DT y UT que se estima se presenten con esta nueva gestión en mantenimiento.

Ítem	UT	DT	Ítem	UT	DT	Ítem	UT	DT	Ítem	UT	DT
1	310	1	31	318	3	61	399	1	91	366	3
2	213	2	32	370	2	62	292	4	92	250	4
3	224	1	33	256	3	63	236	1	93	274	2
4	240	1	34	325	4	64	379	4	94	229	1
5	225	3	35	204	4	65	279	2	95	312	4
6	260	4	36	346	3	66	296	2	96	245	2
7	360	3	37	230	1	67	303	4	97	345	3
8	289	3	38	327	2	68	395	2	98	245	3
9	366	4	39	381	4	69	393	3	99	365	2
10	210	4	40	321	3	70	363	1	100	361	1
11	343	2	41	375	4	71	287	1	101	280	1
12	370	4	42	309	2	72	298	2	102	256	4
13	251	3	43	271	3	73	225	3	103	378	4
14	352	3	44	306	3	74	268	4	104	257	2
15	390	2	45	246	4	75	327	2	105	327	2
16	206	1	46	203	1	76	331	2	106	278	1
17	334	2	47	287	1	77	387	1	107	287	1
18	211	4	48	256	1	78	212	3	108	230	1
19	308	2	49	229	1	79	282	2	109	214	3
20	234	2	50	344	1	80	206	4	110	342	1
21	201	3	51	289	3	81	385	1	111	395	4
22	259	2	52	294	3	82	242	2	112	230	1
23	333	3	53	374	2	83	338	4	113	286	4
24	321	3	54	346	1	84	274	2	114	329	2
25	384	1	55	206	2	85	241	4	115	262	3
26	266	2	56	223	3	86	273	3	116	208	1
27	365	2	57	302	4	87	282	3	117	371	4
28	207	1	58	298	3	88	316	4	118	281	2
29	358	2	59	247	1	89	397	2	119	275	1
30	357	3	60	300	2	90	251	4	120	215	3

Nueva confiabilidad

Figura 25. Confiabilidad con la aplicación RCM



ESTIMACIÓN

BENARD

DISTRIBUCIÓN

Weibull

β 5,959

η 318,052

MTBF: 294,95

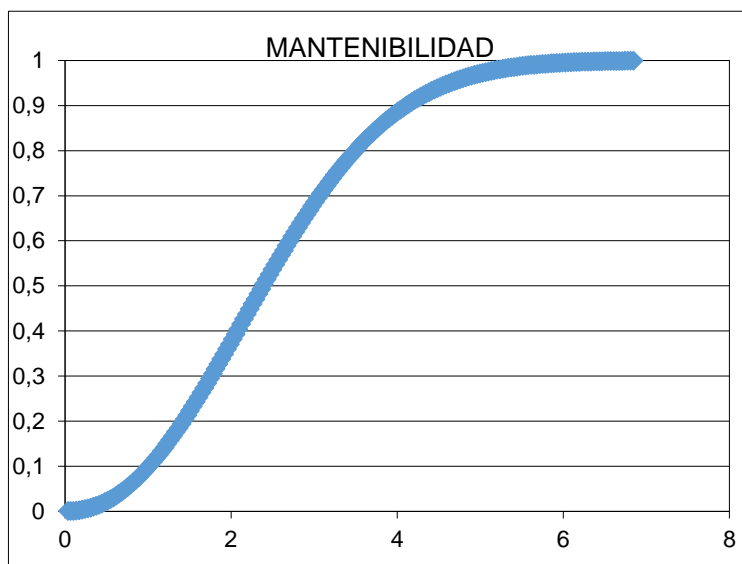
PRUEBA

Kolmogorov-Smirnov

V. Prueba: 0,0818

V. Crítico: 0,11

Resultado: OK



ESTIMACIÓN

BENARD

DISTRIBUCIÓN

Weibull

β 2,204

η 2,8

MTTR: 2,49

PRUEBA

Kolmogorov-Smirnov

V. Prueba: 0,1530

V. Crítico: 0,11

Resultado: NO

MTBF	294,95
MTTR	2,49
DISP	99,16%

7. CONCLUSIONES

- En el análisis del estado actual de históricos de falla y operaciones de la línea de producción de la compañía, se encontró una sólida información con procesos de calidad que ofrecían confiabilidad en la recolección y monitoreo de esta, lo cual para la aplicación de un mantenimiento centrado en confiabilidad es sumamente importante. A lo largo del desarrollo del proyecto se fortaleció ciertos parámetros en la gestión de la información, enfocados al monitoreo de datos como ADT (Administrative Delay Time), LDT' (Logistic Down Time), LDT (Logistics Delay Time) con el propósito de tener la base de información en el cálculo de una disponibilidad operacional.
- En el desarrollo del análisis de Pareto del Turbomezclador, se concluye que la aplicación de esta técnica permitió la identificación de los sistemas y subsistemas que han influido directamente en factores de disponibilidad de la máquina y en pérdidas significativas en mantenimiento y producción. Al identificar dichas partes, la gestión en la toma de decisiones para el mejoramiento de estos aspectos se vuelve más efectivo.
- La conformación de un equipo de trabajo llamado comité de confiabilidad, es uno de los pilares más importantes en la aplicación del RCM, puesto que en este encontramos diferentes profesionales con especialidades específicas involucradas directamente con la máquina en temas de mantenimiento y operación, lo cual para cada acción de mantenimiento propuesta, ya sea correctivo, preventivo y predictivo se realiza de forma más asertiva y siempre buscando el mejoramiento de los factores confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

- La metodología de confiabilidad adicionara valor a los controles en los procedimientos de mantenimiento y operaciones, ofreciendo constantemente la optimización de los procesos involucrados en estas actividades y también incidiendo de forma positiva a los gastos por mantenimiento.
- Por todo lo anterior puede asegurarse que la implementación de una metodología de RCM representa beneficios significativos no solo en factores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad sino también en la operación de mantenimiento y producción.

8. RECOMENDACIONES

- Presentar la metodología a la alta gerencia para su respectiva aprobación, implementación y apoyo, dándole a conocer los beneficios que puede traer el RCM.
- Gestionar el análisis económico que conlleva la implementación de confiabilidad, especificando las necesidades en personal técnico, herramientas, capacitación y software.
- Muchos procedimientos de operación y mantenimiento que afectan la metodología de confiabilidad se encuentran en conocimientos tácitos, los cuales deben pasar a implícitos con el propósito de mejorar la confiabilidad en los diferentes procedimientos.
- Capacitar al personal con respecto a temas de confiabilidad, ya que con el desarrollo y conocimientos de la metodología RCM, el programa de confiabilidad será más eficaz en su implementación.

BIBLIOGRAFIA

CABRERA, O. (13 de Junio de 2012). Confiabilidad y análisis estadístico para la predicción de fallas, seguridad, riesgo, costo y garantía de los equipos. Recuperado el 11 de Septiembre de 2016, de <https://gestionmantenimientomentefactusupq.wikispaces.com/file/view/Weibull.pptx>

MOUBRAY Jhon. Reliability Centered Maintenance RCM II. Industrial Press NY, 1997.

MOUBRAY Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad. ALADON, 2004.

ROJAS, Deivis. Diseño de una estrategia de mantenimiento basada en RCM para la impregnadora marca Tocchio de la empresa Lamitech S.A.S. Colombia: Universidad industrial de Santander, Escuela de ingeniería mecánica. 2014.

SAE JA 1011, SURFACE VEHICLE / AEROSPACE STANDARD

Tecnología de los Plásticos. (15 de Marzo de 2011). *Tecnología de los plásticos*. Recuperado el 01 de 05 de 2016, de Tecnología de los plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>.

Tecnología de los Plásticos. (03 de Octubre de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Recuperado el 01 de 05 de 2016, de Tecnología de los Plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/10/moldeo-por-compresion.html>

----.HOJA DE DECISION RCM II, Mantenimiento Industrial - UNC.
Septiembre,2008. (en línea) Disponible en:

<http://www.e2energiaeficiente.com/wp-content/uploads/2014/12/hoja-de-desicion.png>

----.METODOS EN CALIDAD EN Advanced Productive Solutions, S.L. Principio
de Pareto, Febrero, 2004. (en línea) Disponible en:

<http://www.ceroaverias.com/enciclopedy/centroTPM/principiopareto.htm>.

----. CONFIABILIDAD Y ANALISIS ESTADISTICO PARA LA PREDICCION DE
FALLAS, SEGURIDAD, RIESGO, COSTO Y GARANTÍAS DE LOS EQUIPOS,
Diciembre, 2016. (en línea) Disponible en:

<https://gestionmantenimientomentefactusupq.wikispaces.com/file/view/Weibull.pptx>

ANEXOS

ANEXO A. TIEMPO ENTRE FALLAS (TBF) Y REPARACIONES (TTR)

Tabla 17. Tiempo entre fallas (TBF) y reparaciones (TTR) TURBOMEZCLADOR

ITEM	Tiempo de operaciones entre fallas (HR)	Tiempo de Mantenimiento (HR)	ITEM	Tiempo de operaciones entre fallas (HR)	Tiempo de Mantenimiento (HR)
1	197	3	34	179	2
2	196	5	35	200	5
3	203	3	36	192	6
4	214	4	37	226	3
5	224	6	38	234	6
6	185	6	39	221	6
7	226	4	40	206	4
8	217	6	41	136	5
9	224	2	42	166	2
10	180	4	43	164	3
11	238	6	44	164	6
12	152	6	45	139	2
13	197	6	46	204	6
14	136	2	47	180	6
15	195	3	48	182	2
16	173	3	49	160	6
17	179	3	50	176	3
18	162	2	51	187	5
19	191	5	52	180	2
20	126	4	53	136	5
21	186	5	54	232	6
22	130	4	55	208	3
23	138	5	56	154	2
24	223	2	57	132	2
25	194	5	58	124	2
26	194	6	59	228	4
27	170	4	60	156	4
28	138	5	61	120	6
29	217	6	62	142	2
30	195	5	63	198	3
31	123	5	64	173	4
32	166	3	65	189	4
33	220	4	66	182	4

ITEM	Tiempo de operaciones entre fallas (HR)	Tiempo de Mantenimiento (HR)
67	209	5
68	153	2
69	136	6
70	191	2
71	157	5
72	184	3
73	175	3
74	166	5
75	167	4
76	186	6
77	155	2
78	176	6
79	201	2
80	122	5
81	198	5
82	219	4
83	202	5
84	132	4
85	144	6
86	235	5
87	189	5
88	159	2
89	176	4
90	210	2
91	164	6
92	187	2
93	229	5
94	177	6
95	138	4
96	221	3
97	164	5
98	164	4
99	157	4

Fuente: Monitoreos de tiempo DT y UT, Software ERP – PVC Gerfor

ANEXO B. HOJA DE TRABAJO – TURBOMEZCLADOR RCM

	C.F	Sistema	Función	C.F.F.	Falla Funcional	C.M.F	Modo Funcional	Efectos de Falla
TURBOMEZCLADOR	1	SOPLADOR	Generar el caudal de aire requerido para el transporte de la materia prima (polvo) en un rango de 50 a 80 CFM a una presión entre 5 y 10 PSI desde la zona de recepción de material hasta la tolva báscula.	1-A	No genera el caudal de la materia prima (polvo) en un rango de 50 a 80 CFM.	1-A-1	Falla total o parcial del motor eléctrico.	Se detiene el motor y suena una alarma en su panel de control. Tiempo promedio para reemplazar uno de sus componentes fallido(s) (1 hr), finalmente se hace una inspección de ajuste en el taller.
						1-A-2	Desalineación del eje impulsor.	El soplador empieza con una vibración creciente. Tiempo muerto para realizar la inspección preliminar y ajuste del eje (40 mn), la herramienta utilizada es especial para el procedimiento y almacén entra en prioridad alta.
				1-B	No genera una presión de la materia prima dentro de un rango de 5 a 10 PSI.	1-B-1	Lubricación inadecuada en las áreas de baja y alta presión.	Hay un incremento en la temperatura de la carcasa del soplador. Se genera contaminación del lubricante por partículas magnéticas. Probablemente se genera un ruido creciente en la zona de los tornillos, asociado a un desgaste prematuro.
						1-B-2	Falla total o parcial de la válvula deslizante.	Automáticamente se detiene el soplador. Tiempo de parada de componente para reparar, hasta 2 has.

TURBOMEZCLADOR	C.F	Sistema	Función	C.F.F.	Falla Funcional	C.M.F	Modo Funcional	Efectos de Falla
	2	LÍNEA DE TRANSPORTE	Permitir el adecuado transporte de la materia prima del soplador a la tolva báscula en un rango de 50 a 80 CFM y una presión de 5 a 10 PSI, reduciendo al máximo las pérdidas por derrames y/o fugas.	2-A	No transporta la materia prima (polvo) a un caudal entre 50 y 80 CFM.	2-A-1	Falla total o parcial de las juntas.	Físicamente se puede observar la falla durante la inspección diaria, se enciende la alarma de (Bajo Caudal), se incrementa la vibración de la tubería. Tiempo de parada de la línea estimada en 45 mn, donde se verifica el estado y/o reparación de las juntas.
						2-A-2	Perdida de presión y/o caudal en el transporte de la materia prima.	Se analizan los puntos críticos por separado.
				2-B	Perdida de presión a menos de 5 PSI de la materia prima.	2-B-1	Se agujera la tubería por corrosión y/o desgaste.	Se evidencia una alta vibración y pérdidas en el rendimiento del transporte asociado a unas posibles fugas. Tiempo de parada de la línea estimado en su reparación (1 hr)
	3	TOLVA BASCULA	Realizar el pesaje de la materia prima en las condiciones requeridas por el proceso en un rango de 50Kg a 1200Kg.	3-A	No realiza el pesaje de la materia prima con precisión.	3-A-1	Descalibración de las celdas de carga.	El peso del batch no corresponde con el peso programado, el operario debe realizar un reporte. Tiempo estimado de parada para la respectiva calibración (3 hrs).
						3-A-2	Vibración excesiva en el mezclador.	Vibración es transmitida a las celdas de carga y se origina un error de lectura en el peso, Tiempo de parada estimado para la relación 6 a 12 hrs, cambio de las aspas del mezclador.

TURBOMEZCLADOR	C.F	Sistema	Función	C.F.F.	Falla Funcional	C.M.F	Modo Funcional	Efectos de Falla
	4	MEZCLADOR	Combinar los diferentes ingredientes en las temperaturas y tiempos de proceso definidos por la ingeniería de producto que se define en el PLC, el rango de operación es de 60 a 120°C y el ciclo de operación de 250 a 600s	4-A	Incapaz de combinar la materia prima en un rango de temperatura entre 60° y 120°C.	4-A-1	Falla parcial o total del motor principal del mezclador.	Se enciende la alarma de control que da aviso de la falla del motor, asociado a un disparo en la protección eléctrica del circuito de arranque del motor. Tiempo estimado para la reparación (2 hr)
					4-A-2	Desbalanceo del eje principal del árbol del mezclador o de alguna de sus aspas.	Se evidencia una alta vibración en las aspas del mezclador, asociada a una pérdida en la eficiencia de la mezcla. Se incrementan los tiempos de batch. Incremento de producto no conforme. Tiempo estimado para la reparación 4 hrs (5 mecánicos). Almacén entra en prioridad.	
					4-A-3	Falla parcial o total del sensor de temperatura	Se enciende la alarma de falla termocupla, el control ordena detener la máquina. Se empieza pruebas y calibración del sensor. Se detiene por completo el mezclador. Tiempo estimado para la reparación 1 hr, (2 mecánicos).	
					4-A-4	Falla parcial o total del PLC donde no se respeten los tiempos de proceso.	Se detiene por completo el Turbomezclador, se realiza una inspección completa a la CPU y los periféricos. Tiempo estimado para a reparación depende de la falla. Se debe contactar al proveedor del PLC para la re instalación del software de control.	
			4-B	Aumento del ciclo de operación, por encima de 600 s.	4-B-1	Falla parcial o total de las aspas del mezclador	Alta vibración, 3 mecánicos (6 hrs), llave de torque y extractor hidráulico de rodamientos y bujes. Si hay falla de una aspa se cambian todas	
					4-B-2	Falla en las correas de transmisión entre el motor y el eje del mezclador	Incremento de ruido en las correas, pérdida en la tracción de la correa, se evidencia ruptura en una o más correas del sistema. Falla total del Turbomezclador. Tiempo 4 hrs (4 tec), extractor hidráulico, alineador laser y caja de herramientas.	

TURBOMEZCLADOR	C.F	Sist.	Función	C.F.F.	Falla Funcional	C.M.F	Modo Funcional	Efectos de Falla
	5	EXTRACTOR DE HUMEDAD	Retirar el exceso de humedad que puede presentar la mezcla, usando un volumen de aire de 200a 300 lt por tiro forzado y filtrando a la salida el aire que toma de la olla. Rango de operación del ventilador 3500 RPM a 3700 RPM.	5-A	Incapaz de retirar el exceso de humedad de la mezcla de acuerdo a los parámetros de calidad.	5-A-1	Falla parcial o total del extractor.	No hay succión del exceso de aire húmedo de la mezcla
						5-A-2	Falla en las resistencias de la cámara de calefacción	no se produce el volumen de aire necesario para retirar la humedad de la mezcla
						5-A-3	Falla en las mangas de filtrado	Fugas de compuesto y perdidas en extractor
				5-B	Extracción de humedad con un volumen de aire inferior a 200 Lt por tiro forzado.	5-B-1	Falla en los ductos de extracción	Perdida de la eficiencia en el extractor, se evidencia exceso de humedad en la mezcla. 90 mn por cada una de estas fallas, 1 tec
				5-C	Incapaz de ventilar la mezcla a menos de 3500 RPM.	5-B-2	Falla parcial o total del motor del extractor	Inspección de ajustes, inspección de conexiones, inspección por fugas. Verificación de amperaje.
	6	ENFRIADOR	Disminuir la temperatura y estabilizar el compuesto a una temperatura entre 25 y 40°C, usando agua a temperatura de 10°C con un caudal de 120 a 150 lt/min a una velocidad de 60 a 80 rpm.	6-A	Incapaz de disminuir la temperatura y estabilizar el compuesto a un valor inferior de los 40°C.	6-A-1	No hay un flujo de agua fría (6-8° C) adecuado al interior del enfriador	La temperatura de entrega del compuesto es superior a 40°c
						6-A-2	La temperatura de entrada del agua es superior a los 10 °C	La temperatura de entrega del compuesto es superior a 40°c
	7	ZARANDA	Tamizar el compuesto separando las partículas con una micrometría de 1 a 5 micras, a una velocidad de 50 a 60Hz	7-A	No separa el compuesto dentro de las medidas estándar (1 a 5 mc).	7-A-1	Ruptura, perforación o saturación de la malla de tamiz	Se presentan partículas de un tamaño mayor
				7-B	Incapaz de tamizar el compuesto a una velocidad de 50 a 60 Hz.	7-B-1	Falla total o parcial del motor del vibrador de la zaranda 7	Vibración excesiva en la zaranda, derrame de material
7-B-2						Contrapesos del vibrador no están colocados adecuadamente	Excesiva vibración, producto fuera de especificaciones	