

**MODELO DE GESTION Y CONTROL PARA EL PLAN DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FLOWSERVE COLOMBIA LTDA**

JOSE JAVIER CARREÑO RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2014

**MODELO DE GESTION Y CONTROL PARA EL PLAN DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FLOWSERVE COLOMBIA LTDA**

JOSE JAVIER CARREÑO RODRIGUEZ

**Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

Director

EDGAR FERNANDO BENAVIDES MENDIVELSO

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2014

A mis padres Jose Teodoro Y María Teresa,

A mis hermanas Marcela y Andrea

Por su apoyo incondicional

En esta etapa académica y profesional

A Giselle y Martin como ejemplo de crecimiento

Profesional que marque un camino exitoso en sus vidas.

CONTENIDO

	PAG
INTRODUCCION	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
1.3 JUSTIFICACION	17
2. GENERALIDADES	18
2.1 RESEÑA HISTORICA	19
2.1.1 Historia local	20
2.2 UBICACIÓN	21
2.3 JUSTIFICACION	22
2.4 MISION	22
2.5 VISION	22
2.6 POLITICA DE CALIDAD	23
2.6.1 Objetivos de calidad	23
2.6.2 Política de higiene, seguridad, salud y medio ambiente	23
2.6.3 Política de no alcohol, no droga y no tabaco	23
2.6.4 Certificados	23
2.7 VALORES CORPORATIVOS	24

3. PROCESO DE MANUFACTURA DE BOMBAS CENTRIFUGAS	26
3.1 BOMBAS CENTRIFUGAS TIPO BETWEEN BEARING	26
3.1.1 Configuraciones	27
3.1.2 Nomenclatura	28
3.1.3 Diseño de las principales piezas	28
3.1.4 Accionamiento	29
3.2 PROCESO PRODUCTIVO DE LA BOMBA LR	29
3.3 INGENIERIA DE BOMBAS LR	32
3.4 DESCRIPCION DE LA PLANTA	33
3.5 DESCRIPCION DE EQUIPOS	35
3.5.1 Tornos paralelos	36
3.5.2 Tornos de control numérico (CNC)	36
3.5.3 Taladro radial	36
3.5.4 Alesadoras	36
3.5.5 Fresadora	37
3.5.6 Amortajadora	37
3.5.7 Cortadora sierra	37
3.5.8 Unidad sponge jet	37
3.5.9 Extractor de lijado	37
3.5.10 Planta eléctrica	37

3.5.11 Compresor	38
3.5.12 Balanceadora	38
3.5.13 Equipos de alta influencia en el proceso	38
3.6 CODIFICACION Y LISTADO GENERAL DE EQUIPOS	38
4. FUNDAMENTOS BASICOS DEL MANTENIMIENTO	40
4.1 DEFINICION	40
4.2 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO	40
4.3 EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	42
4.3.1 Clasificación de los programas	43
4.3.2 Información necesaria para elaborar un programa	44
4.3.3 Elementos para hacer una programación de trabajo	45
4.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO	46
4.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	47
4.5.1 Filosofía del mantenimiento preventivo	49
4.5.2 Factores del mantenimiento preventivo	50
4.5.3 Factores que afectan la magnitud de un programa	50
4.5.4 Beneficios logrados por el mantenimiento preventivo	51
4.5.5 Problemas básicos del mantenimiento preventivo	52
4.6 LA INSPECCION EN MANTENIMIENTO	52
5. SITUACION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO	55

5.1 ANALISIS DE CRITICIDAD	55
5.2 DISPONIBILIDAD	59
5.2.1 Disponibilidad genérica, Dg.	60
6. MODELO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	64
6.1 FICHA TECNICA	64
6.2 RUTINA DE INSPECCION	73
6.3 MATRIZ DE EQUIPOS Y TIEMPOS DE INSPECCION	80
6.4 MODELO DE ANALISIS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO	81
6.4.1 Costos Fijos	81
6.4.2 Costos Variables	82
6.4.3 Costos Financieros	82
6.4.4 Costos de la no disponibilidad por fallas	82
7. CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA	85

LISTA DE FIGURAS

	PAG
Figura 1. Logo de la empresa	18
Figura 2. Presencia de Flowserve a nivel mundial	19
Figura 3. Presencia de equipos Flowserve en la industria mundial.	19
Figura 4. Línea de tiempo de la evolución de la compañía	20
Figura 5. Ubicación geográfica de la compañía	22
Figura 6. Bomba LR tipo between bearings	27
Figura 7. Esquemas de montaje bombas LR	28
Figura 8. Modelos de fundición en madera para bombas LR	30
Figura 9. Fundición y mecanizado de carcasas LR	31
Figura 10. Plano seccional y lista de materiales de bomba LR	32
Figura 11. Plano de la planta	34
Figura 12. Distribución interna de la planta	35

LISTA DE TABLAS

	PAG
Tabla 1. Matriz de partes vs. Actividades de manufactura bomba LR	33
Tabla 2. Codificación y equipos	39
Tabla 3. Frecuencia de falla	55
Tabla 4. Costos de mantenimiento	56
Tabla 5. Impacto seguridad, ambiente e higiene	56
Tabla 6. Impacto operacional	56
Tabla 7. Flexibilidad de operación	57
Tabla 8. Jerarquización de la criticidad	57
Tabla 9. Análisis de criticidad para los equipos	58
Tabla 10. Histórico de mantenimiento correctivo a equipos críticos	59
Tabla 11. Cálculos MUT & MDT	62
Tabla 12. Cálculos Disponibilidad genérica	62
Tabla 13. Disponibilidad Real Vs. Disponibilidad Ideal	63
Tabla 14. Matriz de equipos y tiempos de inspección en minutos	80

LISTA DE FORMATOS

	PAG
Formato 1. Ficha técnica TP-01	64
Formato 2. Ficha técnica TP-02	65
Formato 3. Ficha técnica TP-03	65
Formato 4. Ficha técnica TP-04	66
Formato 5. Ficha técnica TP-05	66
Formato 6. Ficha técnica TVCNC-01	67
Formato 7. Ficha técnica TR-01	67
Formato 8. Ficha técnica AL-01	68
Formato 9. Ficha técnica AL-02	68
Formato 10. Ficha técnica FR-01	69
Formato 11. Ficha técnica AM-01	69
Formato 13. Ficha técnica SJ-01	70
Formato 14. Ficha técnica CM-01	71
Formato 15. Ficha técnica BL-01	71
Formato 16. Ficha técnica MC-01	72
Formato 17. Ficha técnica CP-01	72
Formato 18. Rutina de inspección para tornos paralelos	73
Formato 19. Rutina de inspección para alesadoras	74
Formato 20. Rutina de inspección para cortadora	74
Formato 21. Rutina de inspección para taladros	75
Formato 22. Rutina de inspección para sponge jet	75
Formato 23. Rutina de inspección para fresadoras	76
Formato 24. Rutina de inspección para amortajadora	76
Formato 25. Rutina de inspección para tornos verticales	77
Formato 26. Rutina de inspección para compresor	78
Formato 27. Rutina de inspección para balanceadora	79
Formato 28. Rutina de inspección para montacargas	79
Formato 29. Orden de trabajo	83

RESUMEN

TITULO*: MODELO DE GESTION Y CONTROL PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FLOWSERVE COLOMBIA LTDA

AUTOR: JOSE JAVIER CARREÑO RODRIGUEZ**

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO, BOMBAS, EQUIPOS, PREVENTIVO, CRITICOS, FICHA TECNICA, RUTAS.

DESCRIPCION: El presente trabajo de grado se enfoca en diseñar un modelo de gestión que permita controlar el mantenimiento preventivo a los equipos de una empresa fabricante de equipos de bombeo para industria en general, el proyecto inicia en la descripción del proceso y equipos en general, tomando como base una serie de datos históricos de fallas y tiempos de parada en un periodo de tres meses de las máquinas que intervienen en el proceso, de esta manera determinar la criticidad y estado de disponibilidad e indicadores de gestión de los mismos.

El objetivo es crear el modelo de mantenimiento preventivo a los equipos críticos en el proceso a través de fichas técnicas, puntos, rutas, tareas de inspección en general, igualmente labores de lubricación; la razón principal del plan de mantenimiento inicia con la necesidad de crear e implementar una estructura de departamento que controle, documente y registre los trabajos realizados en cuanto a labores de mantenimiento correctivo, igualmente crear una estructura humana que permita desarrollar labores del día a día con recursos técnicos, físicos y económicos. Es de vital importancia conocer la situación inicial del mantenimiento en las instalaciones ya que este es correctivo, no es documentado y gira en torno a las necesidades de producción, no existe en un sistema de gestión de calidad.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica.
Director: Ing. Edgar Fernando Benavides Mendivelso.

SUMMARY

TITLE*: MANAGEMENT AND CONTROL MODEL FOR FLOWSERVE COLOMBIA LTDA's PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN.

AUTHOR: JOSE JAVIER CARREÑO RODRIGUEZ**

KEY WORDS: MAINTENANCE, PUMPS, EQUIPMENT, PREVENTIVE, CRITICAL, TECHNICAL DATASHEET, ROUTES.

DESCRIPTION: The main focus of this dissertation was to design a management model that allows controlling the preventive maintenance of a pump-building factory's equipment, the project starts off describing the manufacturing process and the machines that intervene in this process. In order to create the maintenance model, for a period of three months, a series of historical data of failures and stop times of all machines involved in the pump manufacturing process was analyzed to identify the importance and availability of each one of the machines.

The objective is to create a model of preventive maintenance for the most important equipment in the factory, through technical datasheets, inspections, and lubrication checks; the main reason maintenance plan begins with the need to create and implement a structure that controls department, document and record the work done in terms of corrective maintenance work, also create a human structure that allows to develop the work of the day with technical, physical and financial resources. It is vital to know the initial situation of facilities maintenance is corrective because this is not documented and revolves around the needs of production, there is a quality management system.

* Monograph

** Faculty Mechanical physical engineerings. Mechanical engineering school.
Director: Ing. Edgar Fernando Benavides Mendivelso.

INTRODUCCION

Flowserve Colombia Ltda. Es una empresa multinacional fabricante de equipos de bombeo y sellado para la industria del petróleo, gas, química, generación eléctrica e industria general, la cual mueve y controla todo tipo de fluidos mediante sus equipos suministrados, que dentro de su amplio portafolio de productos. También ofrece servicios post-venta como reparaciones, venta de partes, acompañamiento en campo, capacitaciones para la correcta operación y mantenimiento de los mismos.

Debido a esto, se hace de suma importancia contar con un apropiado plan de mantenimiento preventivo que satisfaga las necesidades de conservar y prolongar la vida útil de los activos, dando como resultado el aumento de la disponibilidad en los equipos de la planta, de esta forma evitar la reprogramación en los tiempos de entrega de los productos y partes suministradas a los clientes, altos costos en reparación y mantenimientos correctivos, extensos periodos de tiempo por importación y/o compra de repuestos especiales, en algunas ocasiones visitas programadas de proveedores y especialistas de los equipos instalados.

De esta manera, se requiere contar con una herramienta que brinde a la compañía la posibilidad de tener gran confiabilidad en sus equipos, máquinas e infraestructura, que permita alcanzar los logros y metas propuestas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar un modelo de gestión y control para el plan de mantenimiento preventivo a los equipos en Flowserve Colombia Ltda.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Describir el proceso productivo de Flowserve Colombia Ltda.
- Identificar, clasificar y describir la totalidad de equipos, máquinas y herramientas instaladas en la compañía.
- Desarrollar un análisis de criticidad a los equipos instalados en Flowserve Colombia Ltda.
- Realizar y analizar cálculos de disponibilidad a los equipos de mayor criticidad e impacto en la operación.
- Diseñar fichas técnicas para la totalidad de los equipos instalados en la compañía.
- Diseñar el modelo del plan de mantenimiento preventivo a través de puntos y rutas de inspección y lubricación, así determinar un balance de trabajos.
- Analizar costos por mantenimiento para los equipos de mayor operación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La economía a nivel mundial tiende a cambiar debido a la globalización y nuevas tecnologías que día a día impactan por sus adelantos científicos en todas las áreas de ingeniería, ciencia, salud, entretenimiento, esto obliga a la industria en general a ser más competitiva en tiempos, costos, recursos, innovación de producto, valor agregado y demás características propias de la competencia en el mercado.

Debido a esto, las empresas tienden a reevaluar y replantear sus procesos y procedimientos en todas y cada una de sus áreas tales como finanzas, compras, ventas, logística, producción y por ende mantenimiento quien dentro de las organizaciones es responsable de velar por la disponibilidad de los equipos para su desempeño esperado al igual que la conservación y prolongación de la vida útil en los activos fijos de las compañías.

Flowserve Colombia Ltda. Es consciente de esta situación por lo cual quiere establecer un detallado modelo de gestión y control del plan de mantenimiento preventivo para sus equipos, logrando aumentar la disponibilidad de los mismos garantizando su funcionalidad, evitando altos costos de mantenimiento correctivos, retrasos en entrega de producto y deterioro prematuro en su maquinaria.

2. GENERALIDADES

Flowserve “es un afamado líder mundial en el suministro de bombas, sellos mecánicos, válvulas, automatización y servicios a los sectores de energía, petróleo, gas, plantas químicas y otros. Con más de 14.000 empleados en más de 56 países, combinamos nuestro alcance mundial con una presencia local.”

Flowserve “es una organización con un rico legado, con la más amplia línea de productos y la más vasta experiencia en aplicaciones de todo el mundo. Por una cartera sin comparación y una dedicación sin paralelo al éxito del cliente. Nuestra cultura empresarial fomenta el reconocimiento y recompensa la creatividad, el trabajo arduo y la dedicación.¹”

Figura 1. Logo de la empresa



Fuente: Flowserve Corporation

FLOWSERVE, tiene presencia en procesos industriales de movimiento, transporte, sellado y control de fluidos, cuya experiencia ayuda a las compañías en más de 70 países alrededor del mundo.

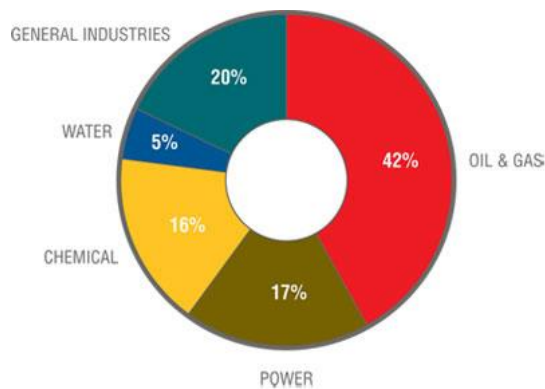
¹ GENERALIDADES. (En Línea) (Citado Agosto 15 de 2013) Disponible: <http://www.flowserve.com/About-Flowserve/Corporate-Information/Flowserve-At-a-Glance>

Figura 2. Presencia de Flowserve a nivel mundial



Fuente: Flowserve Corporation

Figura 3. Presencia de equipos flowserve en la industria mundial.



Fuente: Flowserve Corporation

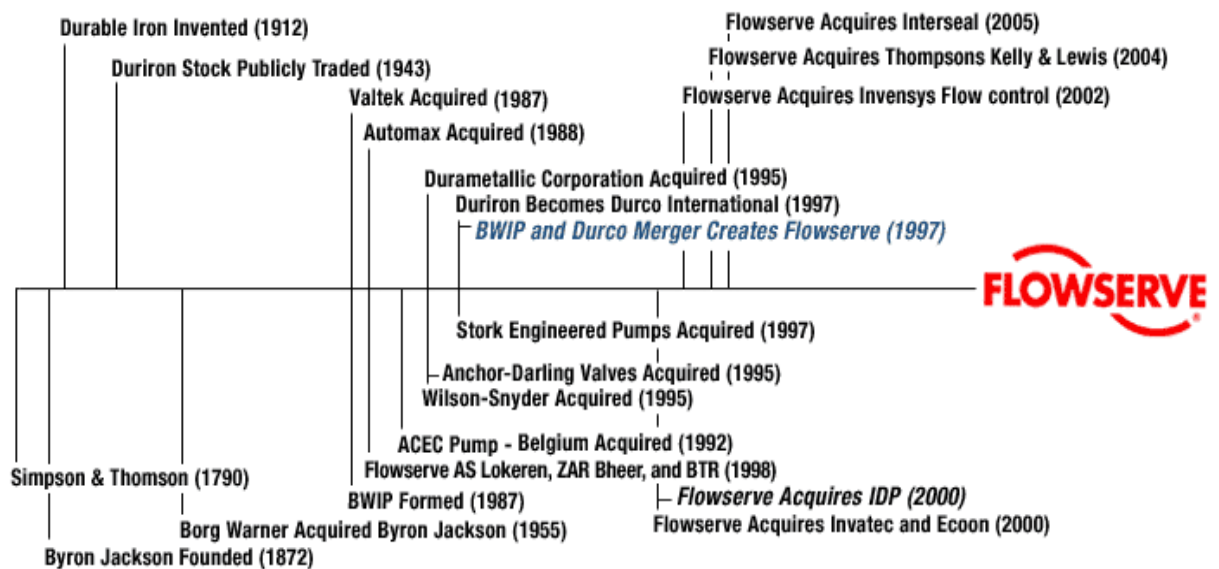
2.1 RESEÑA HISTORICA

Flowserve ha evolucionado mediante el crecimiento orgánico y adquisiciones estratégicas. La compañía se fundó en 1997 como resultado de la fusión de BW/IP y Durco International, dos empresas líderes en el suministro de equipos de movimiento y control de fluidos. La tradición de Flowserve se remonta a la fundación de Simpson & Thompson en 1790, empresa que más tarde se convertiría en Worthington Simpson Pumps, una de las compañías que integraron

BW/IP. Las incorporaciones más recientes a la familia Flowserve incluyen Invensys Flow Control en 2002, Thompsons Kelly & Lewis en 2004 e Interseal en 2005

Al celebrar 10 años como Flowserve y más de 200 años de progreso e innovaciones, trabajamos en diversos sectores, incluidos los de petróleo y gas, energía, plantas químicas, sistemas de agua y mercados industriales generales.²

Figura 4. Línea de tiempo de la evolución de la compañía



Fuente: Flowserve Corporation

2.1.1 Historia local

Hace años, en medio de la alta demanda de los equipos Worthington importados, Worthington corporation decide abrir en 1954 su propia compañía en Colombia

² RESEÑA HISTORICA. (En Línea) (Citado Agosto 15 de 2013) Disponible: <http://www.flowserve.com/About-Flowserve/Corporate-Information/History>

con el nombre de Worthington LTDA. El objetivo inicial era promover y vender los productos y servicios de la misma a nivel nacional.

Durante los primeros años vendía bombas y compresores importados con sus repuestos. En los años 70 el gobierno por falta de divisas, restringe las importaciones, razón por la cual inicia la fabricación y ensamble de bombas y compresores de tipo estándar, a finales de los 70 consolida su fabricación compuesta por el 95% en la bombas y 5% en compresores. Después de ocupar diferentes lugares rentados en Bogotá, ya como Worthington Colombiana s.a. construye su propia sede en 1978 en la localidad de Mosquera – Cundinamarca en un área de aproximadamente 3500 metros cuadrados.

En octubre de 1992, se fusionaron a nivel internacional las divisiones de bombas de Ingersoll Rand y Dresser Industries, generándose Ingersoll Dresser Pumps Company. En 1994 la compañía cambia su razón social de IDP de Colombia a Flowserve Colombia S.A. y en mayo de 2003 a Flowserve Colombia Ltda. Con lo anterior se logra integrar en sus suministros reconocidas marcas de equipos de bombeo.

2.2 UBICACIÓN

Flowserve Colombia Ltda., se encuentra ubicada en Mosquera-Cundinamarca en la dirección Calle 3 No. 10-82, antigua carretera central occidente Km.3-4, quedando diagonal al cementerio de Mosquera y contiguo a la planta de fundición Fundicom S.A.

Es aproximadamente un kilómetro y medio hacia el occidente del parque principal de Mosquera y 800 metros al oriente de la glorieta principal Mosquera – Madrid; Madrid - Facatativá.

Tiene una excelente ubicación geográfica con accesos al interior de la capital y a las salidas principales de la misma.

Figura 5. Ubicación geográfica de la compañía



Fuente: <https://maps.google.es/maps?hl=es-419&tab=w1>

2.3 JUSTIFICACION

Con el propósito de fortalecer su nombre y su imagen en el mercado nacional e internacional, como fabricante de bombas, asume el compromiso de conducir sus actividades a través de su programa de aseguramiento de la calidad.

2.4 VISION

Distinguirnos ante nuestros clientes por brindar soluciones de gestión de flujo integradas como un negocio global, unificado y centrado en el cliente.

2.5 MISION

FLOWSERVE COLOMBIA LTDA, mueve, controla y protege el flujo de materiales en algunas de las industrias más importantes del mundo, para ayudar a que los clientes superen sus metas comerciales y, en última instancia, para brindar mayor valor a nuestros accionistas.

2.6 POLITICA DE CALIDAD

Flowserve Colombia Ltda., se compromete a proporcionar productos y servicios de calidad, que satisfagan o excedan las expectativas de los clientes, cumpliendo los requisitos legales.

2.6.1 Objetivos de calidad:

- Garantizar la prestación de un servicio oportuno, eficiente.
- Cumplir con los despachos a tiempo.
- Garantizar la óptima calidad y funcionamiento de los equipos.
- Desarrollar un plan de formación para los empleados.

2.6.2 Política de higiene, seguridad, salud y medio ambiente

Se compromete a desarrollar un Sistema de Gestión de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente (S.S.O.M.A.) fomentando la participación de todos los niveles de la organización para generar un compromiso individual y colectivo de auto cuidado en cada uno de los trabajadores y a destinar los recursos humanos, físicos y financieros necesarios para la planeación, ejecución y evaluación del S.S.O.M.A,

2.6.3 Política de no alcohol, no droga y no tabaco.

Reconoce que el abuso de alcohol, drogas, tabaco y sustancias no autorizadas por parte de cualquier empleado o contratista, perjudicará su capacidad de rendir en forma apropiada y tendrá efectos adversos sobre la seguridad, eficiencia y productividad de los demás empleados y de la compañía en general,

2.6.4 Certificados:

- RUC (registro único para contratistas de sector hidrocarburos) por consejo colombiano de seguridad; ISO 9001 y OSHAS 18000.

2.7 VALORES CORPORATIVOS

Los valores definen la cultura empresarial, apoyada en los seis valores esenciales para posibilitar al cliente de Flowserve una vivienda consecuente.³

- Dedicación
- Creatividad
- Carácter
- Colaboración
- Confianza
- Competencia



Dedicación

Una promesa es una promesa, ejecución confiable para nuestros clientes.



Creatividad

Pensar más allá de los límites, aceptar cambios y nuevas maneras de pensar



Competencia

Agregar valor a todo lo que hacemos, ser considerado un asesor de confianza.



Carácter

Vivir según el código de conducta empresarial de Flowserve y defender lo que es correcto.

³ VALORES CORPORATIVOS. (En Línea) (Citado Agosto 15 de 2013) Disponible: <http://www.flowserve.com/About-Flowserve/Corporate-Information/Culture>



Confianza

Correr riesgos productivos, actuar con confianza en sí mismo y demostrar coraje como directivo.



Colaboración

Las personas adecuadas trabajando juntas, utilizar nuestra cartera de posibilidades.

3. PROCESO DE MANUFACTURA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Desde 1790, a partir de la primera aplicación de motores para bombas de vapor, Flowserve se convirtió en una fuerza impulsora en el mercado de bombas mundial. Ninguna otra empresa de bombas cuenta con una experiencia tan vasta en la aplicación correcta de bombas y sistemas para usos especiales, prediseñados y diseñados.

Las bombas centrífugas, de desplazamiento positivo, son componentes clave en las industrias de petróleo y gas, de procesamiento químico y de hidrocarburos, de generación de energía y de recursos hídricos del mundo, también en los mercados industriales y de procesos generales. Las bombas Flowserve cumplen una función esencial en las tareas de obtención de energía limpia, reducción de gases de efecto invernadero y suministro de agua potable, junto con la aplicación de tecnologías de procesos y producción avanzada.

Flowserve ofrece las líneas más amplias del mundo de diseños que cumplen con las normas ISO 13709/API 610 e ISO 2858-5199/ANSI B73.1, además de bombas diseñadas según las normas de diseño ASME, nucleares, JIS y otras normas de diseño mundialmente reconocidas. Además de ofrecer más de 100 modelos distintos de bombas, Flowserve también brinda a sus clientes un soporte técnico e ingeniería, con los sistemas hidráulicos, mecánicos, materiales, control y la capacidad de diagnóstico más avanzados de la industria.

3.1 BOMBAS CENTRIFUGAS TIPO BETWEEN BEARING

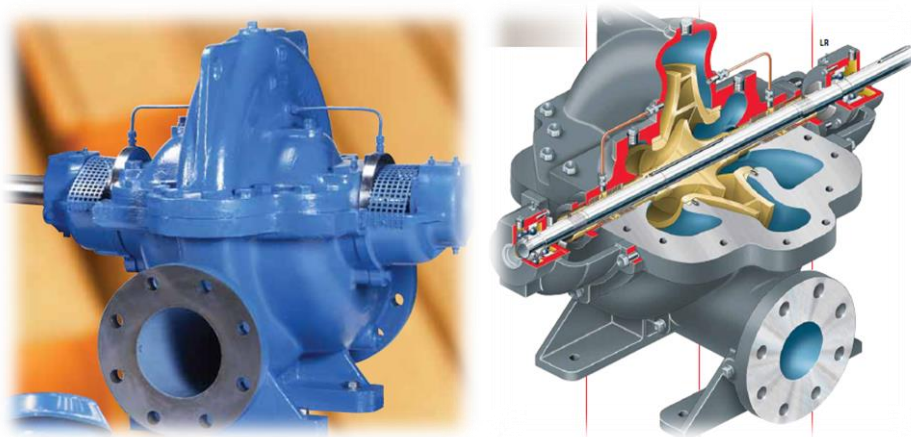
En Latinoamérica, Flowserve Colombia Ltda es reconocida por la fabricación y suministro de bombas centrífugas de la línea LR, between bearing o carcasa partida axialmente; según las siguientes características:

- La familia de bombas LR, ofrece una amplia cobertura hidráulica y bajo costo de adquisición, existen miles de unidades instaladas con el pasar de

los años, estas bombas proporcionan un rendimiento fiable y eficiente en aplicaciones desde el suministro de agua, desechos de circulación hasta transporte de combustibles.

- Son diseñadas para un fácil mantenimiento e intercambiabilidad máxima entre piezas, alta eficiencia y construcción robusta y resistente.
- La línea LR cuenta con 29 tamaños de construcción. (tamaños de bridas de succión y descarga) y (diámetros de impulsores).
- Flujo estándar hasta 2000 m³/h (8800 gpm).
- Cabezas de descarga hasta 170 m (560 Ft).
- Presiones de trabajo hasta 21 Bar (300 PSI)
- Temperaturas de -30°C (-20°F) hasta 150°C (300°F).

Figura 6. Bomba LR tipo between bearings.



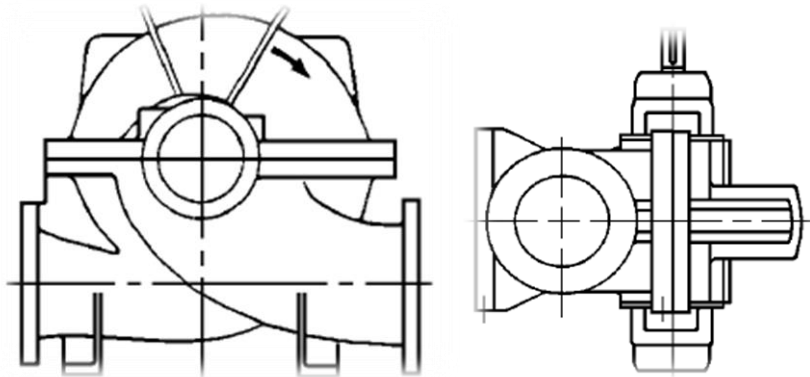
Fuente: Flowserve Corporation

3.1.1 Configuraciones

La línea de bombas LR, consiste en unidades de carcasa horizontal y cuerpo partido axialmente, diseñadas para instalaciones de agua, drenaje, servicios industriales y sistemas de recirculación, se puede accionar con motores eléctricos o combustión interna, turbinas de vapor.

Los equipos de la línea LR, se pueden instalar de manera horizontal o vertical, como muestra la figura.

Figura 7. Esquemas de montaje bombas LR



Fuente: Manual de instalación y operación LR.

3.1.2 Nomenclatura

El tamaño de la bomba está grabado en la placa de identificación, normalmente como se indica a continuación;

6 LR-18

- 6 = Diámetro nominal de brida de descarga
- LR = Modelo constructivo de la bomba
- 18 = Diámetro nominal máximo del impulsor

3.1.3 Diseño de las principales piezas

- Carcasa de la bomba, es axial al eje lo cual permite realizar trabajos de mantenimiento en el elemento rotativo con solo desmontar la mitad superior de la carcasa sin necesidad de perturbar el montaje de tubería de succión y descarga que se encuentran en la mitad inferior.

- Impulsor, es totalmente cerrado y puede adaptarse con anillos que ayuden a centrar el elemento rotativo.
- Eje, rígido de gran diámetro montado sobre rodamientos y extremo motriz con cuña.
- Rodamientos y lubricación, estos son de bolas como equipo reglamentario, lubricados por aceite o grasa protegidos por un empaque o junta en V.
- Soporte de rodamiento, tiene dos graseras para rellenar los alojamientos de grasa entre intervalos de lubricación, para los rodamientos lubricados con aceite, se tiene una aceitera de nivel constante.
- Sellamiento, el diseño del equipo permite el uso de sellos mecánicos y prensa estopas con empaquetadura, con el fin de evitar fugas del fluido bombeado a la atmosfera.

3.1.4 Accionamiento

El accionamiento consiste normalmente en un motor eléctrico, se pueden acoplar diferentes configuraciones de accionamiento como son motores de combustión interna, turbinas, motores hidráulicos. Conectados por medio de acoples mecánicos ya sean rígidos o flexibles, correas, engranajes, cardanes, etc...

3.2 PROCESO PRODUCTIVO DE LA BOMBA LR

El proceso productivo de la bomba surge de una necesidad que ingresa a la compañía a través del departamento de ventas con base a una selección adecuada al requerimiento del cliente respecto a unas condiciones de operación y fluido de servicio (caudal, cabeza de descarga, tipo de fluido, viscosidad, gravedad específica) y sobre todo el presupuesto del mismo. Una vez entra dicho pedido este es receptado por el departamento de ingeniería quien revisa toda la información comercial y técnica el proyecto teniendo en cuenta su construcción, materiales, aplicación, accionamiento y montaje en general. Desplegando a su vez un listado de materiales para la fabricación, construcción, ensamble y respectivas

pruebas de la bomba, con base a este se genera planos de fabricación, ensamble y montaje.

El siguiente paso se da en el área de planeación donde se explosiona dicha lista de materiales y se da paso a órdenes de compra por materias primas (fundición, aceros, bronces) y ordenes de producción para el mecanizado de dichos componentes.

El proceso crítico es la fundición de carcasas e impulsores, por lo cual Flowserve cuenta con su respectiva modelería y procedimientos de alta tecnología en fundición para generar la mejor y más alta calidad en sus piezas.

Figura 8. Modelos de fundición en madera para bombas LR



Fuente: Flowserve Colombia Ltda.

Ya en planta todas las materias primas, inicia todo el proceso de manufactura, mecanizados, pruebas y todos aquellos procesos que serán descritos más adelante, según tipo de pieza, tipo de manufactura y actividades especiales según su importancia como componente de la bomba.

Figura 9. Fundición y mecanizado de carcasas LR



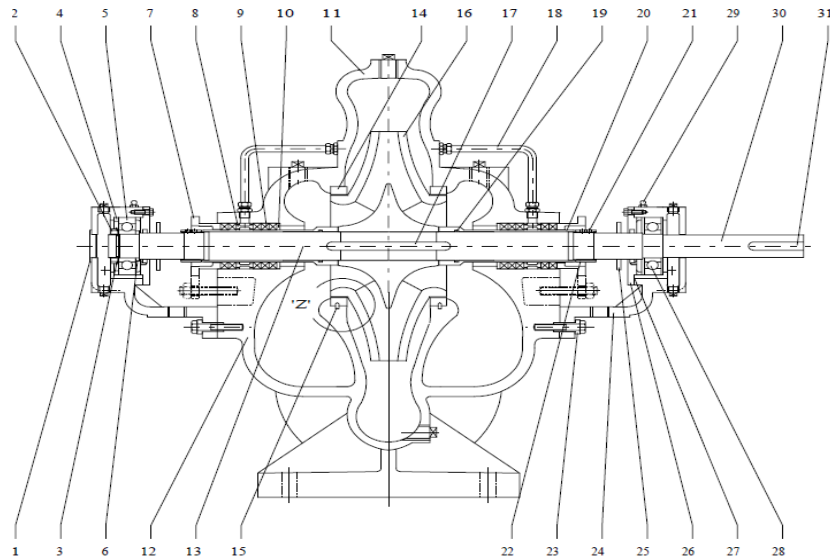
Fuente: Flowserve Colombia Ltda.

Luego de lograr reunir todos y cada uno de los componentes el equipo pasa a línea de ensamble, inicialmente el rotor que se debe balancear dinámicamente , luego equipo completo, donde posteriormente pasa a prueba de comportamiento para validar sus condiciones de operación con las ofertadas al cliente. Por último pintura, embalaje y liberación por el área de calidad.

3.3 INGENIERIA BOMBAS LR

El departamento de ingeniería genera una lista de materiales según la aplicación y condiciones del equipo, con el fin de fabricar y comprar las piezas de dicho listado, así;

Figura 10. Plano seccional y lista de materiales de bomba LR



Ref. nº	Descripción
1	Tapa contra polvo
2	Contratuercas de cojinete
3	Arandela seguridad – contratuercas cojinete
4	Cuña (c)
5	Cojinete de bolas – empuje
6	Espaciador (c) cojinete de empuje
7	Glándula
8	Anillo de cierre hidráulico
9	Empaquetadura del prensaestopas
10	Casquillo de prensaestopas
11	Semicuerpo superior
12	Semicuerpo inferior
13	Junta estanqueidad - horizontal partida
14	Anillo desgaste del cuerpo
15	Tornillo antirrotación (b)
16	Impulsor
17	Chaveta – impulsor

18	Conjunto tubería obturación
19	Anillo tórico – camisa de eje
20	Camisa de eje
21	Tornillo cabeza hueca para 22 y 40
22	Tuerca del impulsor
23	Casquillo
24	Ménsula de cojinete
25	Escudo contra agua
26	Tapa de cojinete
27	Junta estanqueidad – tapa de cojinete
28	Cojinete de bolas – eje
29	Engrasador
30	Eje
31	Chaveta – acoplamiento

- a) Cuando lo hay, depende del tipo de junta mecánica.
 b) La posición verdadera esta en cara de junta de estanqueidad, mitad inferior.
 c) Incorporado en bombas 4LR11, 4LR14 y 5LR13 solamente.
 d) No lo llevan las bombas 10LR17 y 10LR18.

Fuente: Flowserve Colombia Ltda.

Según el listado se procede a generar secuencias de trabajo para cada uno de los componentes mecanizados, así mismo los centros de trabajo o máquinas que intervienen en el proceso, máquinas que se deben preservar y/o mantener en óptimas condiciones para lograr su desempeño esperado, piezas y cantidades requeridas para el ensamble oportuno de bombas LR.

Tabla 1. Matriz de partes vs. Actividades de manufactura bomba LR

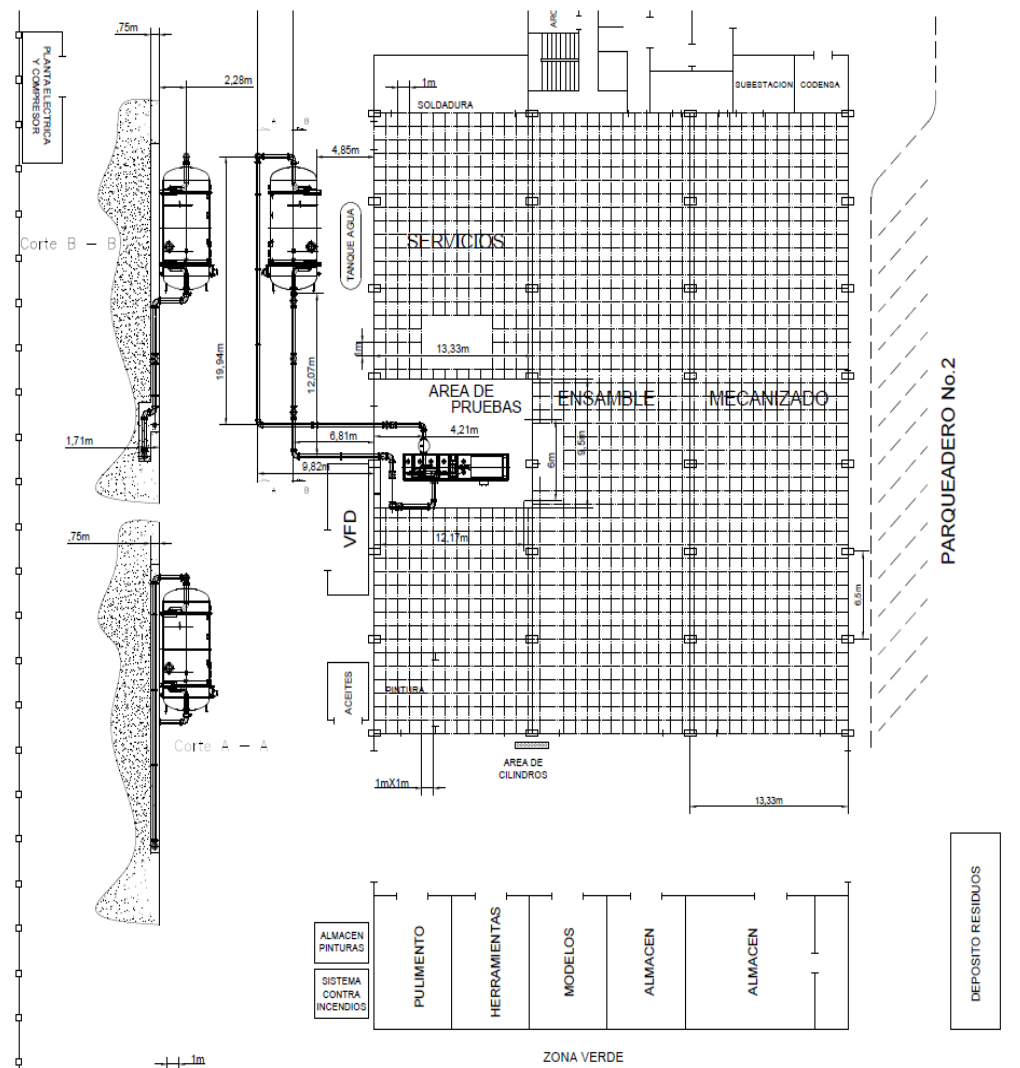
ACTIVIDADES VS. PIEZAS		ALESADO	TORNEADO	TALADRADO	FRESADO	AMORTAJADO	BALANCEADO	P.HIDROSTATICA	P.COMPORTAMIENTO	PINTURA	SOLDADURA	TRANSPORTE
6	<i>BEARING SPACER</i>		X									
7	<i>GLAND</i>		X							X		
8	<i>SEAL CAGE</i>		X		X							
10	<i>S.B.BUSHING</i>		X									
11	<i>CASING</i>	X		X				X		X	X	X
14	<i>CASING RING</i>		X		X							
16	<i>IMPELLER</i>		X	X		X	X			X	X	
20	<i>SHAFT SLEEVE</i>		X		X							
22	<i>SHAFT NUT</i>		X		X							
24	<i>BEARING BRACKET</i>		X	X						X		
26	<i>BEARING COVER</i>		X	X						X		
30	<i>SHAFT</i>		X		X							

Fuente: El autor.

3.4 DESCRIPCION DE LA PLANTA

La planta física de Flowserve ubicada en el municipio de Mosquera, cuenta con su sede administrativa y operativa en el mismo lugar, donde se lleva a cabo la totalidad del proceso desde el área de ventas en el ingreso de cada orden hasta el área de almacén en la actividad de costeo, cierre y despacho de las mismas.

Figura 11. Plano de la planta.



Fuente: Flowserve Colombia Ltda.

La figura 11 muestra la distribución de planta según tipo de actividad y operación, donde en su interior se muestra la zona de mecanizado, ensamble, reparaciones y el área de pruebas de comportamiento con su respectivo VFD, tanque de agua de 6000 galones para el mismo. Igualmente muestra planta eléctrica, zona de generación de aire (compresores), soldadura, subestación eléctrica,

almacenamiento de lubricantes, gases comprimidos y equipo contra incendios que protege el área de modelos de fundición en madera.

Figura 12. Distribución interna de la planta.



Fuente: Flowserve Colombia Ltda.

3.5 DESCRIPCION DE EQUIPOS

El proceso productivo de bombas LR, lleva una secuencia de mecanizados especializados según la pieza de la bomba, su forma constructiva, su materia prima de fabricación ya sea pieza en fundición o barra redonda en acero, bronce o algún tipo de acero inoxidable.

Dicho proceso pasa por rutas de mecanizado tales como;

- Alesado
- Torneado
- Taladrado
- Fresado
- Soldadura, Pulimento y pintura en otras laboras propias del proceso de producción.

3.5.1 Tornos paralelos

Son equipos de gran importancia en el proceso, ya que en estos tornos se lleva a cabo el mecanizado de piezas en fundición como el gland o prensaestopas (7), impulsores (16), soporte de rodamiento (24) tapa de rodamiento (26). Igualmente los mecanizados de piezas cuya materia prima son aceros o bronces redondos para la fabricación del espaciador de rodamiento (6), sello de jaula (8), buje de la cajera (10), anillos de carcasa (14) y tuerca del eje (22).

3.5.2 Tornos de control numérico (CNC)

Son utilizados en el proceso en el mecanizado automatizado de ejes (30) y camisas (20), ya que por la cantidad y complejidad en el mecanizado, es de mayor utilidad generar un programa en CNC que minimice el tiempo y garantice las dimensiones en la fabricación de las piezas. De igual manera existe torno vertical CNC, cuya función es planear juntas de carcasa bipartida, bridas y soportes de carcasas.

3.5.3 Taladro radial

Es utilizado para realizar perforaciones en los cuerpos de las bombas para uniones roscadas entre carcasa superior e inferior e igualmente para los agujeros de la bridas de succión y descarga de las mismas. De igual forma es utilizado para perforaciones en general de piezas en fundición como drenajes y venteos.

3.5.4 Alesadoras

Son máquinas de gran tamaño cuya funcionalidad en el proceso es mecanizar todos los diámetros internos de las carcasas dando como resultado excelentes ajustes en las piezas de mayor precisión para el ensamble como sellos mecánicos, anillos de desgaste y rodamientos.

3.5.5 Fresadora

Este equipo es de gran importancia ya que es donde se centra gran cantidad de trabajo por su funcionalidad de realizar cuñeros en ejes y camisas, taladros y perforaciones en tuercas de eje, anillos de desgaste y sellos de jaula.

3.5.6 Amortajadora

Su función es realizar los cuñeros a todos los impulsores que requieren de gran profundidad a lo largo de la manzana del impulsor.

3.5.7 Cortadora-sierra

Su función es cortar barras de aceros, láminas, tubos a la medida requerida para pasar a mecanizado con la longitud exacta y así, dar dimensiones finales a las piezas evitando desperdicio de material.

3.5.8 Unidad sponge jet

Este equipo básicamente tiene una función de limpieza a través del sistema de sandblasting a las piezas de fundición y estructuras soldadas, eliminando grasas, restos de fundición, soldadura y elementos contaminantes con el fin de permitir aplicar adecuadamente la pintura sobre una superficie estable.

3.5.9 Extractor de lijado

Su función es extraer los residuos en el proceso de pulimento y lijado en la fundición, evitando así emisiones nocivas a la salud y al medio ambiente.

3.5.10 Planta eléctrica

Su función es generar y proveer energía eléctrica a la planta y oficinas en caso de faltar el suministro eléctrico o cortes de la misma.

3.5.11 Compresor

Es el encargado de generar y suministrar aire comprimido a más de 30 puntos instalados alrededor de la planta en funciones de limpieza en cada una de las máquinas, presión para la cabina de pintura y cabina de sandblasting.

3.5.12 Balanceadora

Equipo de gran importancia en el proceso ya que se realiza los balanceos dinámicos a rotores ensamblados e impulsores, dando consigo el grado de desbalanceo y equilibrándolo mediante sustracción de material.

3.5.13 Equipos de alta influencia en el proceso

En este subnivel solamente se nombraran algunos de los equipos de gran impacto que intervienen en el proceso productivo como son los equipos de soldadura, la cabina de pintura, el equipo contraincendios, igualmente los equipos de importancia para el transporte tanto interno, con externo del material tales como el montacargas, el puente grúa y el camión transportador de materias primas.

3.6 CODIFICACION Y LISTADO GENERAL DE EQUIPOS

La siguiente tabla muestra los equipos que intervienen en el proceso con su respectiva codificación. Igualmente teniendo en cuenta el tiempo el cual deben estar disponibles para cumplir su función en un periodo de trabajo.

- 8,5 horas al día en un horario de 7:00 a.m. a 5:00 p.m. donde realmente son 10 horas menos media hora de almuerzo y menos un 10% del tiempo en descanso o retiros del operario de la máquina.
- 42,5 horas semanales.
- 170 horas mensuales.

Tabla 2. Codificación y equipos

<i>IT</i>	<i>CODIGO</i>	<i>EQUIPO</i>	<i>HORAS DE TRABAJO DIARIAS</i>	<i>HORAS DE TRABAJO SEMANALES</i>	<i>HORAS DE TRABAJO MENSUALES</i>
1	TP-01	TORNO PARALELO SHENGYANG	8,5	42,5	170
2	TP-02	TORNO PARALELO TOS SN-55	8,5	42,5	170
3	TP-03	TORNO PARALELO TOS SN-63	8,5	42,5	170
4	TP-04	TORNO PARALELO SHENGYANG - 1	8,5	42,5	170
5	TP-05	TORNO PARALELO TOS SN-71	8,5	42,5	170
6	TCNC-01	TORNO PARALELO CNC SHENGYANG	8,5	42,5	170
7	TVCNC-01	TORNO VERTICAL CNC VANGUARD	8,5	42,5	170
8	TR-01	TALADRO RADIAL SOLARUCE	8,5	42,5	170
9	AL-01	ALESADORA UNION BFT-90	8,5	42,5	170
10	AL-02	ALESADORA KNUTH	8,5	42,5	170
11	FR-01	FRESADORA IMAT MILL	8,5	42,5	170
12	AM-01	AMORTAJADORA TS-350K	8,5	42,5	170
13	CDM-01	CORTADORA DE METAL BEHR	8,5	42,5	170
14	SJ-01	UNIDAD SPONGE JET	8,5	42,5	170
15	EP-01	EXTRACTOR DE LIJADO	8,5	42,5	170
16	PE-01	PLANTA ELECTRICA	8,5	42,5	170
17	COM-01	COMPRESOR KAESER ASD-40	8,5	42,5	170
18	BL-01	BALANCEADORA HINES HC500	8,5	42,5	170
19	SOL-01	SOLDADOR STICK LINCOLN RX-450	8,5	42,5	170
20	MC-01	MONTACARGA CATERPILLAR GP 30 NT	8,5	42,5	170
21	PG-01	PUENTE GRUA DEMAG	8,5	42,5	170
22	FURGON	CAMION DAIHATSU DELTA	8,5	42,5	170
23	CP-01	CABINA DE PINTURA EQUINTEC	8,5	42,5	170
24	CI-01	SISTEMA CONTRA INCENDIOS	8,5	42,5	170
25	BP-01	BANCO DE PRUEBAS	8,5	42,5	170

Fuente: El autor.

4. FUNDAMENTOS BASICOS DEL MANTENIMIENTO

4.1 DEFINICION

Actividad científica cuyo desarrollo permite la más alta disponibilidad con calidad de todos los bienes. Mantener es obtener utilidades, porque es la única forma de conservar los equipos y las plantas en el más alto grado de productividad y competencia. Retarda la compra de bienes nuevos, prolongando la vida útil de los actuales sin descartar la utilización de tecnologías más eficaces y rentables. Conjunto de acciones, operaciones y actitudes encaminadas a poner o restablecer un bien a un estado específico, que le permitan asegurar un servicio determinado.⁴

4.2 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es algo inherente a la industria se encuentra irremediablemente ligado a la existencia de las máquinas. La vida de una máquina implica la necesidad del mantenimiento. El mantenimiento dirigido, organizado; el mantenimiento de alto nivel; el grupo de ingeniería de mantenimiento se justifica en la medida en que:

- Mantenga los equipos en una alta disponibilidad.
- Logren un alto rendimiento las tareas de mantenimiento.
- Optimice los costos de mantenimiento.
- Incremente o sostenga la productividad.
- Sea activo en los programas de calidad.

El grupo de mantenimiento, debe ser una parte integral de la organización y más aún cuando la empresa crece, cuando aumenta su complejidad, cuando se incrementa la automatización de las plantas y se debe tomar la importancia de su papel. Cuando la edad de sus equipos aumenta y los costos de mantenimiento se van convirtiendo en los costos más importantes de los costos de producción, son

⁴ DEFINICION, BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento, Bogotá Aseduis p.9

numerosos los datos estadísticos que resaltan la importancia del mantenimiento en la industria, valga la pena mencionar los siguientes:

- El personal utilizado en labores de mantenimiento sin incluir los contratistas va de 6% al 50% del total de los empleados, siendo el mayor en las industrias más automatizadas.
- El costo del mantenimiento representa entre el 10% y el 35% del valor agregado al producto.

En algunos países industrializados como Francia el mantenimiento representa:

- El 5,7% del valor total de los negocios.
- El costo del mantenimiento, es el 5% de los costos de fabricación.
- El costo del mantenimiento, es del orden de 15% del producto nacional bruto.
- Más de medio millón de personas trabajan en labores de mantenimiento.

La función de mantenimiento existe en la industria porque es una necesidad para garantizar el éxito de las operaciones de la planta. Todas las máquinas, equipos, instalaciones están sujetas en mayor o menor grado a:

- La acción deteriorante de agentes climáticos (externos) o a la acción dañina de los agentes propios (internos). Aun cuando son muy numerosos pueden mencionarse los siguientes:

Agentes externos:

- El aire, según su humedad y contaminación.
- La sal, produce corrosión química o electroquímica.
- El calor solar produce dilataciones, contracciones, choque térmico y rotura.
- Polvo produce corrosión, abrasión, atascamientos, suciedad.
- Gases corrosivos.
- Otras sustancias, tóxicas, combustibles o explosivos.

Agentes interno:

- Movimiento de fluidos que producen cavitación, erosión.
- Temperaturas que producen fatiga térmica.
- Vibraciones mecánicas, producen inestabilidad y daños.
- Fricción, produce desgastes.
- Presión, incremento de tensión y roturas.⁵

4.3 EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

La programación es la determinación anticipada del lugar y del momento en que deben iniciarse y terminarse las operaciones necesarias para la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

El alcance y la eficiencia de una programación de mantenimiento quedan limitados por el acierto en la distribución de las órdenes de trabajo y los procedimientos de control; y de manera muy especial por el grado y exactitud de la planeación hecha. En cuanto a los programas de mantenimiento, al igual que los de producción, es de máxima importancia percatarse que los procedimientos deben ser el resultado de considerar los fines específicos y no de la simple necesidad de contar con ellos.

Los principios básicos de la programación de producción que sirven también para el mantenimiento, son los siguientes;

- Los programas deben basarse en lo que es más probable que ocurra, más que en lo que quisiéramos que ocurriese.
- Hay que tener presente que puede presentarse la necesidad de hacer cambios periódicos en los programas.
- El programa es un medio para conseguir un fin, y no un fin en sí mismo. Su verdadero objetivo es servir al cliente en un costo razonable.

⁵ IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO, BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento, Bogotá Aseduis p.9

- Los plazos de entrega prometidos deben incluir un margen de tiempo para conseguir materiales, efectuar trámites y hacer las preparaciones necesarias.
- Los registros de carga de trabajo o acumulación de ordenes pendientes correspondientes a maquinas o a grupos de personal, tiene que contener el mínimo de detalles necesarios para suministrar un plan de acción.
- Materiales, herramientas, personal y accesorios tienen que hallarse oportunamente en cada uno de los puntos de control.
- Todo programa tiene que fundarse en un estudio del costo más bajo y de la fecha límite de entrega.

A fin de observar en forma apropiada estas reglas, se necesita seguir determinados procedimientos y normas, precisar los límites de fuerza de trabajo, definir autoridad y responsabilidad, establecer eficientemente las actividades de control. Con base en lo anterior podemos resumir en tres las etapas de la programación:

- Determinar o estimar el tiempo calendario, que lleva cada actividad o subactividad del plan.
- Fijar la secuencia de las actividades según prioridades predeterminadas.
- Elaborar la programación asignando personas, materiales, máquinas, equipos y demás recursos necesarios.

4.3.1 Clasificación de los programas

Los programas se pueden clasificar en dos grupos fundamentales de acuerdo a la forma como son elaborados:

- Programas de asignación de trabajos, son aquellos que determinan primero los trabajos y actividades a realizar y basándose en ellos el personal requerido.

- Programas de asignación de personal, aquellos que distribuyen el personal en las diferentes labores a realizar, de acuerdo con una asignación fija de trabajadores a cada área o sección de la industria.

Una segunda clasificación debe ser de acuerdo con la periodicidad con que se van a realizar y los más comunes son:

- Diario
- Semanal
- Mensual
- Semestral y anual.

Cada uno de los tipos de programas enumerados puede según su forma de ejecución ser:

- Centralizado, existe una unidad de programación general.
- Por departamentos, cada uno de los departamentos de la empresa intervienen en la elaboración de su programa de mantenimiento particular.
- Por áreas de proceso, cuando existe diversidad de secciones productivas requiere la elaboración de programas individuales, acordes con sus actividades particulares.

4.3.2 Información necesaria para elaborar un programa

En la elaboración de cualquier programa de mantenimiento, básicamente se necesita la siguiente información:

- Cantidades a intervenir dentro del plan.
- Fechas calendario en que se requiere entregar las máquinas o terminar los servicios, prestados a otros departamentos, talleres.
- Tiempos de duración de las operaciones, proceso de adquisición de partes, actividades técnicas o teóricas.

- Capacidad de las operaciones, medida como la fuerza de trabajo disponible del departamento.
- Cantidad de tiempo o días ociosos, no laborables para mantenimiento, para producción o para los proveedores.

4.3.3 Elementos para hacer una programación de trabajo

Todo programa de trabajo requiere fundamentalmente de las etapas de planeación y programación propiamente dichas. La planeación incluye recopilación de una serie de ideas para incluir en el programa y la selección de alternativas. En la programación se definen las actividades y su secuencia con límites de tiempo y la asignación del personal. Los elementos básicos necesarios para llegar a una buena programación de los trabajos, con base en las etapas mencionadas son los siguientes:

- Planificar el trabajo para trazar el camino del mantenimiento.
- Utilizar un sistema de órdenes de trabajo para organizar, autorizar el trabajo, preparar y controlar lo realizado.
- Usar un procedimiento de estimación de tareas con base a estándares.
- Elaborar un programa general que relacione mano de obra disponible y carga de trabajo.
- Preparar un procedimiento general de programación en detalle.
- Determinar un procedimiento de control de horas, para poder estimar costos.
- Tener una base para medición del trabajo.
- Disponer de un buen sistema de retroalimentación.
- Poseer suficientes normas de trabajo.⁶

⁶ EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO, BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento, Bogotá Aseduis p.33

4.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente. Este tipo de mantenimiento es el más común y conocido por los encargados, jefes e ingenieros de mantenimiento. Por lo general obliga a un riguroso conocimiento del equipo y las partes susceptibles a falla y a un diagnóstico acertado y rápido de las causas.

El simple mantenimiento correctivo tiene algunas justificaciones, por ejemplo:

- Si el equipo no se halla en una línea o punto crítico del proceso y no ocasiona serios trastornos a la producción o al mantenimiento.
- Si el equipo se halla en estado de obsolescencia o desuso,
- Equipo tiene gemelo.
- Es fácilmente costeable un equipo nuevo.

Sin embargo, estas justificaciones deben revisarse periódicamente hasta comprobarse que efectivamente el paro imprevisto de este equipo no ocasiona trastornos graves a la producción.

La actitud de permitir que instalaciones y equipos continúen funcionando sin prestarles demasiada atención, puede tener su origen en algunos de los siguientes aspectos:

- Indiferencia o rechazo ante los beneficios que pueden obtenerse utilizando adecuadas técnicas de planeación y programación.
- Falta de una buena justificación económica, que muestre las ventajas de las técnicas de programación que pueden ser utilizadas en la planta respectiva.
- Demanda excesiva, temporal o permanente de producción lo cual impide dedicar tiempo y recursos al mantenimiento.
- Demasiada carga laboral en mantenimiento.

Sin embargo, el mantenimiento correctivo no es puramente esperar que un equipo tenga una falla para proceder a repararlo, él tiene una connotación mucho más importante en el proceso operativo del sistema de mantenimiento, es más, el mantenimiento cualquiera sea el tipo de gestión siempre termina en el mantenimiento correctivo. En síntesis puede decirse que el mantenimiento correctivo puede ser planificado, visualizado por inspección. También se denomina proactivo no planificado, es la solución de emergencias.

El mantenimiento correctivo no planificado, es seguramente el tipo de gestión más costoso y que más problemas ocasiona, ya que:

- Requiere más personal para las actividades de mantenimiento.
- Paros continuos y consecuencias que amenazan la producción.
- Lucro cesante es siempre mayor.
- Ocasiona malestar en el personal y es fuente de conflictos humanos.
- Los equipos pueden sufrir daños irreparables.
- Es difícil hablar de calidad en la gestión del mantenimiento.⁷

4.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es la forma de gestión más incomprendida entre las personas que trabajan en el mantenimiento. Prevenir es evitar. Mantener es conservar, proteger o entretener. Así es posible seguir buscando acepciones con la seguridad que se viajará por caminos contradictorios. La conceptualización consiste en adquirir las ideas.

Consiste en la inspección, periódica y armónicamente coordinada, de los elementos propensos a fallas y la corrección antes de que esto ocurra.

Los elementos básicos del mantenimiento preventivo son:

- Parte a inspeccionar.

⁷ MANTENIMIENTO CORRECTIVO, BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento, Bogotá Aseduis p.56

- Instante en que debe inspeccionarse.
- Control sobre el cumplimiento de la inspección.

Como otra definición de mantenimiento preventivo podemos decir que es el mantenimiento que se ejecuta a los equipos de una planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas intempestivas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de las máquinas.

El M.P. más que técnica específica de mantenimiento es una “Filosofía” o Estado de ánimo que principia desde el momento del diseño del equipo y que determina su contabilidad y mantenibilidad hasta su reemplazo que se establece cuando sus altos costos de mantenimiento lo justifiquen económicamente.

El M.P al considerar la fábrica en forma integral no es una tarea exclusiva del personal de mantenimiento sino que abarca a todo el personal de la empresa. En consecuencia un mínimo programa de M.P deberá incluir:

- Una inspección periódica de las instalaciones para determinar posibles defectos de los equipos que puedan ocasionar daños mayores.
- La realización del mantenimiento oportuno y adecuado para corregir los defectos anotados evitando que lleguen a ocasionar daños mayores.

Las ventajas del M.P son muchas y se justifica no sólo en las pequeñas fábricas sino en los grandes complejos industriales ya que sus beneficios serán mayores a más alto valor de las instalaciones por metro cuadrado de superficie.

Para lograr los plenos beneficios del M.P su programa mínimo se debe complementar con:

- Un buen análisis, planificación y programación de los trabajos.
- Establecer una documentación operativa mínima y funcional.

4.5.1 Filosofía del mantenimiento preventivo

Nunca espere que un equipo falle inesperadamente, revise periódica y detenidamente, corrija antes de la falla.

La constancia, la flexibilidad y el factor humano son una condición básica para obtener los mejores resultados de M.P. revise constantemente los planes de inspección trazados. Recuerde que una falla puede aparecer en el momento menos pensado.

El M.P. requiere mucha flexibilidad y los planes deben trazarse de tal forma que se permita la prioridad de inspección a los equipos básicos del proceso de producción, a las reparaciones de emergencia o cuando se refiere a la seguridad industrial por falla en equipos cuyas consecuencias puedan resultar fatales para la vida humana o de la planta.

El ser humano es un elemento imprescindible en el M.P, debe tener una cuidadosa preparación en todas las operaciones a su cargo, conocer los riesgos y beneficios de su labor. Se preferirá hacer equipos de trabajo por especialidades.

Básicamente el M.P debe programarse. Tal programa debe resolver los interrogantes.

- Que elementos han de inspeccionarse.
- Cuando, quien y como ha de hacerse.
- Como establecer los controles de cumplimiento.

La experiencia ha demostrado que día a día más empresarios, propietarios e ingenieros de producción se dan cuenta de los grandes beneficios técnico-económicos logrados con un buen plan de M.P. muchas personas han tenido dudas antes de adoptarlo, ninguna después.

El M.P más que una técnica es una filosofía. No solamente es mantener un equipo limpio, sino mantenerlo totalmente cubierto en lugares contaminados.

Justificación y razones del M.P.

- Evitar que una pequeña avería se convierta en un daño mayor.
- Es una garantía para el trabajador y la empresa.
- No se puede lograr buena eficiencia de un equipo mantenido indebidamente.
- Por una falla se pueden causar graves accidentes o daños irreparables.

4.5.2 Factores del mantenimiento preventivo

El ingeniero de mantenimiento que quiera elaborar un programa eficiente de M.P deberá tratar de seguir los siguientes pasos:

- Conocer y estudiar los objetivos de su empresa para definir los del mantenimiento.
- Conocer a fondo los equipos bajo su cuidado y las necesidades y planes de producción.
- Conocer y tener en cuenta las capacidades y agilidades del personal a su servicio y el que opera el equipo.
- Programar los cursos de adiestramiento del personal que considere necesarios.
- Estudiar y fijar los diferentes planes de mantenimiento aplicables a cada equipo.
- Establecer los controles requeridos indispensables para que el plan prefijado se cumpla.
- Estudiar y evaluar cada tres meses los beneficios, dificultades y fracasos del programa cumplido.
- De acuerdo con la evaluación obtenida del programa, afinar, corregir o modificar el plan fijado inicialmente.

4.5.3 Factores que afectan la magnitud de un programa

Los principales factores que afectan la magnitud de un programa de mantenimiento preventivo son los siguientes:

- El costo del programa en comparación con la reducción de los costos de mantenimiento y las mejoras en el rendimiento del equipo.
- Porcentaje de utilización del equipo al cual se le presta el M.P.

Todo el programa de M.P se justificara solamente si con su implementación se van a reducir los costos totales de mantenimiento.

4.5.4 Beneficios logrados por el mantenimiento preventivo

- Disminución del tiempo ocioso por menos paros imprevistos.
- Menor número de reparaciones en gran escala.
- Menos acumulación de la fuerza de trabajo de mantenimiento.
- Menor cantidad de reparaciones repetitivas.
- Disminución de los costos de reparaciones de la falla (mantenimiento proactivo) debido a la menor fuerza de trabajo y la menor cantidad de repuestos utilizados.
- Menor número de productos rechazados, menos desperdicios, mejor control de calidad, debido a la correcta adaptación de los equipos.
- Aplazamiento o eliminación de los reemplazos prematuros de equipo debido a su mejor conservación y aumento de la vida probable.
- Menor necesidad de equipo en operación por los mayores rendimientos.
- Reducción de los costos de mantenimiento por mano de obra y materiales debido al trabajo de optimización de las operaciones de mantenimiento y la disminución de las reparaciones por fallas imprevistas.
- Mejor control del trabajo por la utilización de programas y procedimientos adecuados.
- Reducción y control de los niveles de inventarios de repuestos.

- Mejores relaciones industriales por que los trabajadores de producción no sufren pérdidas de bonificaciones por los paros imprevistos.
- Menores costos de seguros y mayor seguridad para los trabajadores y la planta.
- Menores costos de producción.

4.5.5 Problemas básicos del mantenimiento preventivo

- Indiferencia de los directivos frente a los beneficios de la planificación.
- Resistencia al cambio (siempre se puede hacer mejor)
- Demanda excesiva, temporal o permanente de producción.
- Falta comprensión y cooperación de la alta gerencia.
- La exigencia de resultados inmediatos.
- Creer que el mantenimiento preventivo obra milagros.
- Falta una correcta justificación económica.
- Encontrar el punto de equilibrio entre costos de inspección y costos de daños.⁸

4.6 LA INSPECCION EN MANTENIMIENTO

En términos generales todo sistema, mecanismo, máquina, motor o instalación mecánico, neumático, hidráulico, eléctrico, obras civiles y construcciones locativas debe ser sometido al análisis de prevenciones. De conformidad a estadísticas de la "Factory management and maintenance" de la industria automotriz marcha a la cabeza con el 78% de su equipo en mantenimiento preventivo. Seguida de la mecánica industrial a productora de máquinas con 66% de mantenimiento y en último lugar de la industria eléctrica con 48% (no se incluye la aviación que debe ser cerca del 100% de equipo de operación).

⁸ MANTENIMIENTO PREVENTIVO, BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento, Bogotá Aseduis p.60

La pregunta acerca de ¿qué inspeccionar? En una planta específica, depende totalmente de las condiciones locales. Un buen programa debe incluir la mayor parte de los bienes físicos de la planta.

Una planta procesadora puede resumir el alcance de su Mantenimiento preventivo en forma más adelantada para incluir:

- Equipo de proceso: hornos, intercambiadores de calor, tuberías, bombas, compresores, instrumentos.
- Equipo de seguridad: válvulas de alivio de presión y vacío. Controles de forma, equipos de respiración y primeros auxilios.
- Equipo de servicio: calderas generadoras, almacenes y sistemas de distribución de agua, vapor, y aire comprimido.
- Tanques y equipo accesorios: tanques de almacenamiento.
- Edificios: áreas de embarque, patios y almacenamiento.
- Equipo de protección contra incendios: bombas de agua, rociadores de polvo, extintores, camiones de bombeo y sistemas de alarma.
- Equipo de mantenimiento: maquinas, herramientas, equipo de transporte, grúas y montacargas, herramientas manuales, instrumentos de inspección.

La inspección es el elemento fundamental del mantenimiento preventivo (MP) consiste en observar cuidadosa y detenidamente el estado del elemento en cuestión, buscando desgastes, desajustes, piquetes, erosiones, grietas o fisuras, y registran detalladamente las observaciones en cuadros destinados para tal fin.

La cantidad de inspecciones es lo que determina el costo de un programa, a mayor número de inspecciones en un programa, mayor será su costo. Entonces el problema crítico es encontrar el equilibrio favorable entre este costo de inspección y el costo de no utilizar el M.P. El costo de inspección puede medirse directamente el costo de no usar el mantenimiento preventivo incluye no solo el costo directo de las reparaciones, sino también las cargas indirectas como tiempo ocioso de la producción, entregas y otras consecuencias.

Formas de realizar la inspección y secuencia,

- Sensorial: consiste en observar ciertas condiciones de operación que primitivamente pueden detectarse a través de los sentidos o utilizar instrumentos no requiere el paro de equipos tales como: ruidos, condiciones de servicio, vibraciones y apariencia general.
- Desmantelamiento parcial: mediante la utilización de un procedimiento especial con el equipo fuera de servicio para inspecciones de: partes exteriores, acoples, alineamientos, desajustes.

Reparación total: es la acción del mantenimiento preventivo (MP), producto de las indicaciones dadas en las inspecciones anteriores.⁹

⁹ LA INSPECCION EN MANTENIMIENTO, BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento, Bogotá Aseduis p.56

5. SITUACION ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

Con base a datos históricos recopilados durante un periodo de tres meses y un seguimiento al mantenimiento correctivo realizado a los equipos mencionados en la tabla 2, Se realizó una base de datos que incluye:

- Código y nombre del equipo.
- Numero de fallas en el periodo de tiempo.
- Descripción de falla.
- Tiempo de falla de cada equipo.
- Repuestos y costos de los mismos.

De esta manera y con los datos recopilados se procede a realizar un análisis de criticidad para los equipos que intervienen en el proceso y posteriormente calcular la disponibilidad genérica para los equipos que presenten la mayor criticidad.

5.1 ANALISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad de los equipos se realiza teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Frecuencia de falla, es la cantidad de paradas que sufre un equipo durante un proceso productivo y se cuantificará de la siguiente forma:

Tabla 3. Frecuencia de falla

<i>FRECUENCIA DE FALLA</i>		
<i>FACTOR</i>	<i>NIVEL</i>	<i>CLASIFICACION</i>
1	<i>EXCELENTE</i>	<i>ENTRE 0 Y 1 FALLA EN EL TRIMESTRE</i>
2	<i>BUENO</i>	<i>ENTRE 2 Y 3 FALLAS EN EL TRIMESTRE</i>
3	<i>REGULAR</i>	<i>ENTRE 3 Y 4 FALLAS EN EL TRIMESTRE</i>
4	<i>MALO</i>	<i>MAYOR A 4 FALLAS EN EL TRIMESTRE</i>

Fuente: El autor.

Costos de mantenimiento, se fijan de la siguiente forma:

Tabla 4. Costos de mantenimiento

<i>FACTOR</i>	<i>COSTO</i>
4	MAYOR A \$ 2'500.000
2	MENOR A \$ 2'500.000

Fuente: El autor.

Impacto en seguridad, ambiente e higiene (SAH), Es la repercusión que tiene el equipo con su funcionamiento en el campo de la seguridad industrial, ambiental e higiene.

Tabla 5. Impacto seguridad, ambiente e higiene

<i>impacto seguridad ambiente e higiene (SAH)</i>	
10	<i>afecta a la seguridad humana</i>
8	<i>afecta el ambiente ocasionando daños irreversibles</i>
6	<i>afecta las instalaciones causando daños severos</i>
4	<i>provoca daños menores (accidentes e incidentes) en el personal</i>
2	<i>provoca un impacto ambiental que no viola las normas ambientales</i>
1	<i>no provoca ningún tipo de daño</i>

Fuente: El autor.

Impacto operacional, es la consecuencia que se da cuando el equipo sufre alguna falla dentro del proceso productivo.

Tabla 6. Impacto operacional

<i>impacto operacional</i>	
10	<i>para total de la planta</i>
8	<i>para de una línea de producción</i>
6	<i>impacto en la calidad del producto</i>
4	<i>repercute en costos operacionales adicionales</i>
2	<i>no repercute sobre la producción</i>

Fuente: El autor.

Tabla 7. Flexibilidad de operación.

<i>FLEXIBILIDAD DE OPERACIÓN</i>	
4	<i>No existe opción de producción y no hay función de repuesto</i>
2	<i>hay opción de repuesto compartido</i>
1	<i>repuesto disponible</i>

Fuente: El autor.

Para el cálculo de la criticidad se debe hallar primero la consecuencia del sistema dentro del proceso productivo el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Consecuencia} = ((\text{impacto operacional} * \text{flexibilidad}) + \text{costo de mantenimiento} + \text{sha})$$

Para el cálculo de la criticidad total, se aplica la siguiente condición:

$$\text{Criticidad total} = \text{frecuencia de fallas} * \text{consecuencia}.$$

Jerarquización según la criticidad, dependiendo del valor de la consecuencia y el número de paradas podemos determinar en qué rango de criticidad se encuentra el sistema dentro del equipo.

Tabla 8. Jerarquización de la criticidad.

FRECUENCIA	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	SC	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: El autor.

Donde, (NC) sistema no crítico; (SC) sistema semicrítico y (C) sistema crítico.

De esta forma, el análisis queda de la siguiente forma;

Tabla 9. Análisis de criticidad para los equipos.

CODIGO	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLA	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD DE OPERACION	CONSECUENCIA	TOTAL
TP-01	TORNO PARALELO SHENGYANG	4	2	1	4	1	7	28
TP-02	TORNO PARALELO TOS SN-55	4	2	1	4	1	7	28
TP-03	TORNO PARALELO TOS SN-63	4	2	1	4	1	7	28
TP-04	TORNO PARALELO SHENGYANG - 1	4	2	1	4	1	7	28
TP-05	TORNO PARALELO TOS SN-71	4	2	1	4	1	7	28
TCNC-01	TORNO PARALELO CNC SHENGYANG	2	4	1	4	2	13	26
TVCNC-01	TORNO VERTICAL CNC VANGUARD	4	4	4	8	4	40	160
TR-01	TALADRO RADIAL SOLARUCE	3	2	4	8	2	22	66
AL-01	ALESADORA UNION BFT-90	3	4	1	8	4	37	111
AL-02	ALESADORA KNUTH	4	4	1	8	4	37	148
FR-01	FRESADORA IMAT MILL	4	2	1	8	4	35	140
AM-01	AMORTAJADORA TS-350K	2	2	1	8	4	35	70
CDM-01	CORTADORA DE METAL BEHR	3	2	1	1	2	5	15
SJ-01	UNIDAD SPONGE JET	1	2	10	6	4	36	36
EP-01	EXTRACTOR DE LIJADO	1	2	6	1	4	12	12
PE-01	PLANTA ELECTRICA	1	2	1	1	4	7	7
COM-01	COMPRESOR KAESER ASD-40	2	4	1	4	4	21	42
BL-01	BALANCEADORA HINES HC500	4	4	1	8	4	37	148
SOL-01	SOLDADOR STICK LINCOLN RX-450	2	2	4	1	2	8	16
MC-01	MONTACARGA CATERPILLAR GP 30 NT	4	2	2	1	2	6	24
PG-01	PUENTE GRUA DEMAG	1	2	1	1	2	5	5
FURGON	CAMION DAIHATSU DELTA	1	2	2	1	2	6	6
CP-01	CABINA DE PINTURA EQUINTEC	4	2	2	1	2	6	24
CI-01	SISTEMA CONTRA INCENDIOS	2	2	1	1	4	7	14
BP-01	BANCO DE PRUEBAS	1	2	1	1	4	7	7

Fuente: El autor.

El análisis anterior según frecuencia de falla, impactos operacionales, flexibilidad en el proceso y costos, muestra 5 equipos críticos, 12 equipos semicríticos y 8 equipos no críticos.

En vista que se tienen 5 equipos críticos, entre ellos la alesadora Unión, la alesadora Knuth, la fresadora Imat, la balanceadora y el torno vertical CNC, se sustrajo del histórico de mantenimiento correctivo las labores realizadas, su cantidad de fallos y sus respectivos tiempos de reparación de la falla en horas,

teniendo en cuenta la cantidad de horas laboradas en un periodo de tres meses con el fin de evaluar su disponibilidad y así, determinar algunos indicadores iniciales de mantenimiento.

Tabla 10. Histórico de mantenimiento correctivo a equipos críticos.

IT	CODIGO	EQUIPO	HORAS DE TRABAJO DIARIAS	HORAS DE TRABAJO SEMANALES	HORAS DE TRABAJO MENSUALES	HORAS DE TRABAJO TRIMESTRALES	# DE FALLAS	TIEMPO DE FALLA (H)	DESCRIPCION DE FALLA
7	TVCNC-01	TORNO VERTICAL CNC VANGUARD	8,5	42,5	170	510	1	4	maquina no prende
							1	8	sistema cross Beam no funciona
							6	0,5	falla de iluminacion
							1	3	baja presion de refrigeracion
							3	1	recolector de viruta frenado
9	AL-01	ALESADORA UNION BFT-90	8,5	42,5	170	510	1	2	carro charriot sin movimiento automatico
							1	12	sistema de embrague frenado
							1	6	cabezal desalineado
							1	3	maquina desnivelada
10	AL-02	ALESADORA KNUTH	8,5	42,5	170	510	2	2	no realiza avances rapidos
							1	8	manivela frontal se engrana automaticamente
							2	3	fuga de aceite por el cabezal
							1	5	pinza no ajusta
							1	3	husillo no sale
11	FR-01	FRESADORA IMAT MILL	8,5	42,5	170	510	1	8	ruido en el husillo
							4	3	no hay transmision de movimiento en el husillo
18	BL-01	BALANCEADORA HINES HC500	8,5	42,5	170	510	1	1	maquina no prende
							3	2	daño de acople
							2	2	maquina con lectura variable
							1	4	maquina con lectura variable

Fuente: El autor.

5.2 DISPONIBILIDAD

La probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento

preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad.

En una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el otro es que sean confiables, y por lo tanto, demasiado costosos.¹⁰

La disponibilidad es una consideración importante en sistemas relativamente complejos, como plantas de energía, satélites, plantas químicas y estaciones de radar. En dichos sistemas una confiabilidad alta no es suficiente por sí misma, para asegurar que el sistema esté disponible para cuando se necesite.

También es una medida relevante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionalidad.¹¹

5.2.1 Disponibilidad genérica, Dg.

Sirve para organizaciones que no predicen ni manejan CMD, la información que se dispone, solo contempla los tiempos útiles y los de no funcionalidad (sin especificar causa, ni razón, ni tipo) es muy adecuada para inicializar pruebas pilotos en la empresas. Los parámetros que usa son: UT y DT.

Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y no funcionalidad, los cuales se miden en forma global (no discrimina los tiempos correctivos, preventivos, predictivos, las demoras o los ready time, los DT se

¹⁰ DISPONIBILIDAD, MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, Medellín p.60

¹¹ *Ibíd.*, p.63

miden al bulto, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, acciones correctivas ni modificativas, tiempos planeados, otros. Es muy útil para empresas principiantes en el tema de predicción del CMD.

Los MUT en la Dg, solo consideran los tiempos en que el equipo opera correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento (u otra causa) deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar. Por ejemplo en el evento en que se tuviera un equipo que tiene tiempo útil UT, otro tiempo DT por fallas que generan reparaciones y además de lo anterior se tiene tiempo invertido en MP mantenimiento preventivo, con un tiempo total TT, se calcula así,

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

$$Dg = \frac{Media\ de\ los\ tiempos\ utiles\ con\ funcionamiento}{Media\ de\ tiempos\ utiles + Media\ de\ tiempos\ de\ no\ funcionalidad}$$

$$Dg = \frac{\frac{UT}{m}}{\frac{UT}{m} + \frac{DT}{n}}$$

Donde,

UT: Tiempos útiles o Up Time.

DT: Son los tiempos en que la maquina ni funciona ni produce o Down Time.

m: Es el número de eventos de UT.

n: Es el número de no funcionalidades DT.

La disponibilidad genérica en este caso se mide en porcentaje, mientras que UT, DT se miden en unidades de tiempo: horas, minutos entre otros.¹²

De esta manera, y según los datos históricos de mantenimiento correctivo, se tiene la disponibilidad genérica para un periodo de 3 meses, así:

Tabla 11. Cálculos MUT & MDT

<i>CODIGO</i>	<i>EQUIPO</i>	<i>m</i>	<i>UT</i>	<i>MUT</i>	<i>n</i>	<i>DT</i>	<i>MDT</i>
<i>TVCNC01</i>	<i>Torno vertical CNC Vanguard</i>	13	491	37,77	12	19	1,58
<i>AL-01</i>	<i>Alesadora Union</i>	5	487	97,40	4	23	5,75
<i>AL-02</i>	<i>Alesadora Knuth</i>	8	489	61,13	7	21	3,00
<i>FR-01</i>	<i>Fresadora Imat</i>	6	499	83,17	5	11	2,20
<i>BL-01</i>	<i>Balanceadora Hines</i>	8	501	62,63	7	9	1,29

Fuente: El autor.

Con base a estos cálculos y teniendo en cuenta correctivos por tres meses;

Tabla 12. Cálculos Disponibilidad genérica

		<i>Dg</i>
<i>TVCNC01</i>	<i>Torno vertical CNC Vanguard</i>	95,98%
<i>AL-01</i>	<i>Alesadora Union</i>	94,43%
<i>AL-02</i>	<i>Alesadora Knuth</i>	95,32%
<i>FR-01</i>	<i>Fresadora Imat</i>	97,42%
<i>BL-01</i>	<i>Balanceadora Hines</i>	97,99%

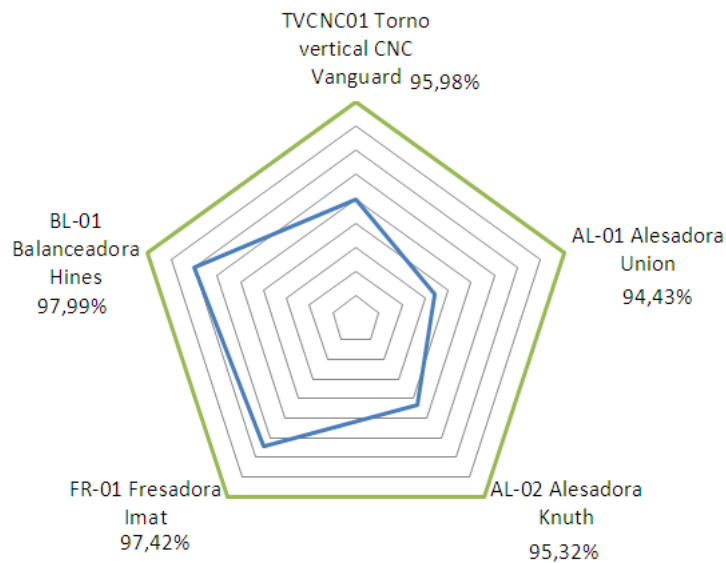
Fuente: El autor.

¹² DISPONIBILIDAD GENERICA, MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, Medellín p.68

De esta manera, y queriendo obtener una disponibilidad cercana al 100% a través de una posible implantación de mantenimiento preventivo, así se visualiza los equipos críticos respecto a una disponibilidad ideal.

Tabla 13. Disponibilidad Real Vs. Disponibilidad Ideal

		<i>Dg REAL</i>	<i>Dg IDEAL</i>
TVCNC01	Torno vertical CNC Vanguard	95,98%	100%
AL-01	Alesadora Union	94,43%	100%
AL-02	Alesadora Knuth	95,32%	100%
FR-01	Fresadora Imat	97,42%	100%
BL-01	Balanceadora Hines	97,99%	100%



Fuente: El autor.

De esta forma se visualiza entre los equipos críticos, los de mayor cuidado y seguimiento como AL-01 con 94,43%, AL-02 con 95,32% y el TVCNC-01 con 95,98%.

“Es de vital importancia tener en cuenta que no existe estructura alguna de departamento de mantenimiento y todos los trabajos y datos son con base en trabajos correctivos por un técnico electro-mecánico.”

6. MODELO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El modelo del plan de mantenimiento preventivo, tiene como propósito controlar de una forma estratégica las inspecciones y rutinas de lubricación, inicialmente para los equipos cuyo análisis de criticidad quedó evaluado entre críticos y semicríticos, ya que por su calificación de diversos aspectos operacionales requieren de un mayor seguimiento y control por parte del programa. De esta manera, se procede a diseñar y construir las fichas técnicas para los equipos críticos y semicríticos.

6.1 FICHA TECNICA

Este documento contiene las características técnicas y físicas de cada equipo con su respectiva fotografía con el fin de lograr un reconocimiento total del equipo. Dicho formato tiene el consecutivo FT-MTTO-01 del día 15 de octubre de 2013, para ser incluido en el sistema de documentación y control del sistema de gestión de calidad.

Formato 1. Ficha técnica TP-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TORNO PARALELO SHENYANG DE 3 MTS.			MODELO: CW 6280	MARCA: SHENYANG	
			NACIONALIDAD: CHINO	SERIE: GH11031503B	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: EJES	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TP-01	AÑO FAB: 2009	VISUALIZADOR: SI	1,9	1,7	3,8
HUSILLO: 130mm	DIST.PUNTOS: 3000 mm	VOLTEO: 600mm	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: IIA	DISP.VERT: IIA	CAP:		

Fuente: El autor.

Formato 2. Ficha técnica TP-02

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TORNO PARALELO TOS SN -55			MODELO: SN-55	MARCA: TOS	
			NACIONALIDAD: CHECOSLOVAQUIA	SERIE: 055-270137	
			PROCEDECENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: PIEZAS FUNDIDAS	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TP-02	AÑO FAB: 1975	VISUALIZADOR: NO	1,9	1,7	2,8
HUSILLO: 61mm	DIST.PUNTOS: 2000 mm	VOLTEO: 550mm	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: NA	DISP.VERT: NA	CAP:		

Fuente: El autor.

Formato 3. Ficha técnica TP-03

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TORNO PARALELO TOS SN -63			MODELO: SN-63	MARCA: TOS	
			NACIONALIDAD: CHECOSLOVAQUIA	SERIE: 063-1570334	
			PROCEDECENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: PIEZAS FUNDIDAS	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TP-03	AÑO FAB: 1973	VISUALIZADOR: NO	1,9	1,7	2,8
HUSILLO: 61mm	DIST.PUNTOS: 2000 mm	VOLTEO: 630mm	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: NA	DISP.VERT: NA	CAP:		

Fuente: El autor.

Formato 4. Ficha técnica TP-04

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TORNO PARALELO SHENYANG No 1			MODELO: CA6266C	MARCA: SHENYANG	
			NACIONALIDAD: CHINO	SERIE: GN-11031503B	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: TUERCAS, BUJES.	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TP-04	AÑO FAB: 2008	VISUALIZADOR: SI	1,9	1,7	2,8
HUSILLO: 110 mm	DIST.PUNTOS: 2000 mm	VOLTEO: 400 mm	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: NA	DISP.VERT: NA	CAP:		

Fuente: El autor.

Formato 5. Ficha técnica TP-05

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TORNO PARALELO TOS SN -71			MODELO: SN-71	MARCA: TOS	
			NACIONALIDAD: CHECOSLOVAQUIA	SERIE: 071-370357	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: IMPULSORES	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TP-05	AÑO FAB: 1974	VISUALIZADOR: NO	1,9	1,7	2,8
HUSILLO: 61mm	DIST.PUNTOS: 3000 mm	VOLTEO: 710mm	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: NA	DISP.VERT: NA	CAP:		

Fuente: El autor.

Formato 6. Ficha técnica TVCNC-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TORNO PARALELO CNC LEADWELL			MODELO: GTC 16090	MARCA: VANGUARD	
			NACIONALIDAD: INGLES	SERIE: A20100061	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: CARCASAS	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: CRÍTICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TVCNC-01	AÑO FAB: 2007	VISUALIZADOR: CONTROL FANUC	6,3	6,5	5,6
HUSILLO: 1600 mm	DIST.PUNTOS: NA	VOLTEO: NA	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: 100-1600mm	DISP.VERT: 900 mm	CAP.:		

Fuente: El autor.

Formato 7. Ficha técnica TR-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
TALADRO RADIAL SORALUCE			MODELO: TR1- 1600	MARCA: SORALUCE	
			NACIONALIDAD: ESPAÑA	SERIE: 2813-11407	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: CARCASAS, BRG HSG	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRÍTICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: TR-01	AÑO FAB: 1977	VISUALIZADOR: NO	2,8	3,5	2,5
HUSILLO: 300 mm	DIST.PUNTOS: NA	VOLTEO: NA	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: 1637 mm	DISP.TRANSV: NA	DISP.VERT: 1630 mm	CAP.:		

Fuente: El autor.

Formato 8. Ficha técnica AL-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
ALESADORA UNION BFT-90			MODELO: BFT-90/3-2	MARCA: UNION	
			NACIONALIDAD: ESPAÑA	SERIE: 19323-21	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: CARCASA S	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: CRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: AL_01	AÑO FAB: 1982	VISUALIZADOR: NO	2,8	1,8	3,5
HUSILLO: 150 mm	DIST.PUNTO: NA	VOLTEO: NA	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: 2000 mm	DISP.TRANSV: 1200mm	DISP.VERT: 850 mm	CAP.:		

Fuente: El autor.

Formato 9. Ficha técnica AL-02

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
ALESADORA KNUTH			MODELO: Bo110	MARCA: KNUTH	
			NACIONALIDAD: USA	SERIE: 1548	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: CARCASA S	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: CRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: AL_02	AÑO FAB: 2008	VISUALIZADOR: NO	2,8	1,8	2,8
HUSILLO: 150 mm	DIST.PUNTO: NA	VOLTEO: NA	VOLTAJE: 440V		
DISP. LONG: 990 mm	DISP.TRANSV: 890 mm	DISP.VERT: 896 mm	CAP.:		

Fuente: El autor.

Formato 10. Ficha técnica FR-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
FRESADORA IMAT MILL			MODELO: X6325D NACIONALIDAD: CHINA PROCEDENCIA: PROPIO ESPECIALIDAD: CUÑEROS ESPECIALES	MARCA: IMAT MILL SERIE: 073656 REFERENCIA:	
TIPO DE EQUIPO: CRITICO			DIMENSIONES		
CÓDIGO: FR-01	AÑO FAB: 2008	VISUALIZADOR: SI	ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
HUSILLO: 35 mm	DIST.PUNTOS: IIA	VOLTEO: IIA	2,4	1,3	1,4
DISP. LONG: 850 mm	DISP.TRANSV: 420 mm	DISP.VERT: 420 mm	VOLTAJE: 440V		
			CAP.:		

Fuente: El autor.

Formato 11. Ficha técnica AM-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
AMORTAJADORA			MODELO: TS-350K NACIONALIDAD: TAIWAN PROCEDENCIA: PROPIO ESPECIALIDAD: CUÑEROS DE IMPULSOR	MARCA: EASTAR SERIE: IIA REFERENCIA: TS-350K	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			DIMENSIONES		
CÓDIGO: AM-01	AÑO FAB: 2012	VISUALIZADOR: SI	ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CORTE MAXIMO: 350 mm	DIST.CABEZA Y MESA: 470mm	DIA. MESA DE TRABAJO: 560 mm	2,4	1,3	1,6
DISP. LONG: 460 mm	DISP.TRANSV: 420 mm	AVANCE DEL CABEZAL: 320 mm	VOLTAJE: 440V		
			MOTOR: 3 Hp		

Fuente: El autor.

Formato 12. Ficha técnica CDM-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1			
						
CORTADORA DE METAL BEHR			MODELO: BS-250V NACIONALIDAD: TAIWÁN PROCEDENCIA: PROPIO ESPECIALIDAD: CORTE BARRAS Y PERF	MARCA: BEHR SERIE: 0802015 REFERENCIA:		
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			DIMENSIONES			
CÓDIGO: CDM-01	AÑO FAB: 2008	VISUALIZADOR: NO	ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)	
HUSILLO: NA	DIST.PUNTOS: NA	DIM. HOJA SIERRA: 0,92X27X3430 mm	1,2	0,9	1,1	
DISP. LONG: NA	DISP.TRANSV: NA	DISP.VERT: NA	VOLTAJE: 440V			
			CAP.: NA			

Fuente: El autor.

Formato 13. Ficha técnica SJ-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1			
						
UNIDAD SPONGE-JET.			MODELO: 100HP NACIONALIDAD: USA PROCEDENCIA: PROPIO ESPECIALIDAD: SANDBLASTING	MARCA: SPONGE-JET SERIE: NA REFERENCIA: UNIDAD DE TRABAJO		
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			DIMENSIONES			
CÓDIGO: SJ-01	AÑO FAB: 2012	PANEL DE CONTROL: SI	ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)	
PRENSION IN: 90 PSI			1,4	1,3	1,3	
PRENSION OUT: 60 PSI			VOLTAJE: NA			
			CAP.: 100 litros			

Fuente: El autor.

Formato 14. Ficha técnica CM-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
COMPRESOR KAESER			MODELO: ASD - 40	MARCA: KAESER	
			NACIONALIDAD: ALEMANIA	SERIE: 1216	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: GENERAR AIRE COMPR	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: CP-01	AÑO FAB: 2008	VISUALIZADOR: SI	2,4	1,3	0,8
	MOTOR: 40 HP	HZ/RPM: 3550	VOLTAJE: 440 V		
			CAPACIDAD: PSI 125 / PCM 181		

Fuente: El autor.

Formato 15. Ficha técnica BL-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
BALANCEADORA HINES			MODELO: HC 500	MARCA: HINES	
			NACIONALIDAD: USA	SERIE: 2508 01	
			PROCEDENCIA: PROPIO	REFERENCIA:	
			ESPECIALIDAD: BALANCEO DINAMICO	DIMENSIONES	
TIPO DE EQUIPO: CRITICO			ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
CÓDIGO: BL-01	AÑO FAB:	VISUALIZADOR: SI	1,7	1,2	2,5
VELOCIDAD: 400 RPM	Ø MAX: 36"	PESO MAX. 500 lb	VOLTAJE: 110V		
	LONGITUD TRABAJO: 5" a 56"		CAP.:		

Fuente: El autor.

Formato 16. Ficha técnica MC-01

FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
MONTACARGAS CATERPILLAR GP 30 NT			MODELO: GP 30 NT NACIONALIDAD: ALEMANIA PROCEDENCIA: PROPIO ESPECIALIDAD: TRANSPORTE	MARCA: CATERPILLAR SERIE: T13F30339	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			DIMENSIONES		
CÓDIGO: MC-01	AÑO FAB: 2008	TRABAJO GAS /GASOLINA	ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
ALTURA MAX 3.030 m			1	1,3	1,3
			MOTOR	MOD: K 25	POT: 40 Kw

Fuente: El autor.

Formato 17. Ficha técnica CP-01


FICHA TECNICA EQUIPOS			FT-MTTO-01 FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2013 VERSION 01 HOJA 1 DE 1		
					
CABINA DE PINTURA			MODELO: I/A NACIONALIDAD: COLOMBIA PROCEDENCIA: PROPIO ESPECIALIDAD: PINTURA CON AIRE SEC	MARCA: EQUINTEC SERIE: I/A VERSIÓN: 01	
TIPO DE EQUIPO: SEMICRITICO			DIMENSIONES		
CÓDIGO: CP-01	AÑO FAB: 2010		ALTO (m)	ANCHO(m)	LARGO(m)
			2,5 m	3,8 m	7,0 m
			VOLTAJE: 440 V		

Fuente: El autor.

6.2 RUTINA DE INSPECCION


El formato de rutina de inspección se ha creado bajo el consecutivo FT-MTTO-02, para dar cumplimiento al sistema de gestión de gestión de calidad, dicho formato tiene definidas todas las actividades de inspección para cada tipo de equipo con sus respectivos tiempos de duración de la actividad en minutos, la frecuencia en que se debe realizar cada actividad y un calendario anual donde se plasma el control de actividades ejecutadas.

Formato 18. Rutina de inspección para tornos paralelos.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION TORNOS PARALELOS												FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01	
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO													
							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
DESCRIPCION DE LA RUTINA																				
SISTEMA MECANICO																				
Inspeccionar funcionamiento maquina	20	0																		
Inspeccionar bancadas	10	0																		
Verificar alineación maquina	20	0																		
Revisar estructura maquina	10		0																	
Revisar y ajustar correas de transmisión	30			0																
Revisar volantes y palancas de mando	10		0																	
Revisar rodamientos de motores	20			0																
Revisar rodamientos de Husillo	20			0																
Revisar caja de velocidades husillo	40	0																		
Verificar nivel de aceite de la caja de velocidades husillo	10	0																		
Revisar caja del automático de los ejes	20	0																		
Verificar nivel de aceite de la caja del automático de los ejes	10	0																		
Engrasar puntos que lo requieren	30			0																
Alinear husillo y contrapunta	60			0																
Verificar nivel de la maquina	30			0																
Limpiar maquina en su totalidad	120				0															
Nivelar maquina	60				0															
Cambiar correas de transmisión	120					0														
SISTEMA DE LUBRICACIÓN																				
Compruebe fugas del sistema	20				0															
Revisar los intervalos de operación	40			0																
Revisar presión del sistema	20				0															
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																				
Revisar luces indicadores de operación	20	0																		
Revisar contactores eléctricos	20			0																
Inspeccionar componentes del gabinete	20			0																
Revisar ajuste tornillo borneras	30			0																
Revisar voltaje de entrada	10				0															
Limpiar alinear y ajustar regletas del visualizador	120		0																	
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN																				
Verificar nivel de refrigerante	10	0																		
Limpiar / Reemplazar filtro del refrigerante	60			0																
Drenar refrigerante	60				0															


Fuente: El autor.

Formato 19. Rutina de inspección para alesadoras.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO						RUTINA DE INSPECCION ALESADORAS		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01														
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	SEMANAL	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO																
								Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic					
SISTEMA MECANICO																								
Inspeccionar funcionamiento maquina	30		O																					
Inspeccionar barredores (wipers)	20		O																					
Inspeccionar bancadas	20		O																					
Verificar alineación maquina	30																							
Revisar estructura maquina	20																							
Revisar volantes y palancas de mando	10				O	O																		
Revisar rodamientos de motores	30																							
Revisar rodamientos del Cabezal	30																							
Revisar caja de velocidades	60																							
Engrasar puntos que lo requieren	40																							
Verificar nivel de la maquina	30																							
Limpiar maquina en su totalidad	120																							
Nivelar maquina	60																							
SISTEMA DE LUBRICACIÓN																								
Revisar Fugas en el sistema	30		O																					
Revisar los intervalos de operación	40																							
Revisar presión del sistema	10																							
SISTEMA HIDRAULICO																								
Revisar Fugas en el sistema	10		O																					
Revisar niveles de aceite	10																							
Revisar presión del sistema	10																							
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																								
Revisar parada de emergencia	10		O																					
Revisar luces indicadores de operación	10																							
Revisar contactores eléctricos	30																							
Inspeccionar componentes del gabinete	40																							
Revisar ajuste tornillo borneras	40																							
Revisar voltaje de entrada	10																							
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN																								
Verificar nivel de refrigerante	10																							
Limpiar / Reemplazar filtro del refrigerante	120																							
Drenar refrigerante	60																							


Fuente: El autor.

Formato 20. Rutina de inspección para cortadora.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO						RUTINA DE INSPECCION CORTADORA		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01														
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	SEMANAL	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO																
								Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic					
SISTEMA MECANICO																								
Inspeccionar funcionamiento maquina	20		O																					
Revisar estructura maquina	10																							
Limpiar maquina en su totalidad	60																							
Engrasar puntos que lo requieren	30																							
Nivelar maquina	20																							
Revisar funcionamiento motor principal	10																							
Revisar cilindro hidráulico	20																							
Revisar caja de velocidades	40																							
Revisar correas y poleas	30																							
Cambiar rodamientos de motores	120																							
Cambiar correas de transmisión	120																							
SISTEMA DE LUBRICACION																								
Revisar puntos de lubricación	20																							
SISTEMA ELECTRICO																								
Revisar finales de carrera	20																							
Revisar tablero eléctrico	20																							
Revisar contactores	20																							
Revisar ajuste tornillos de borneras	30																							
Revisar cables eléctricos	30																							
SISTEMA DE REFRIGERACION																								
Revisar fugas en el sistema	10																							
Cambiar refrigerante	90																							


Fuente: El autor.

Formato 21. Rutina de inspección para taladros.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION TALADRO RADIAL												FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01	
DESCRIPCION DE LA RUTINA	PERIODICIDAD TIEMPO (MIN)	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO													
							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
SISTEMA MECANICO																				
Inspeccionar funcionamiento maquina	10	O																		
Inspeccionar bancadas	10	O																		
Revisar estructura maquina	20		O																	
Revisar Mandril	20		O																	
Revisar y ajustar correas de transmisión	40		O																	
Revisar volantes y palancas de mando	10		O																	
Revisar rodamientos de motores	40		O																	
Revisar rodamientos del Cabezal	60			O																
Revisar caja de velocidades	120			O																
Engrasar puntos que lo requieren	60			O																
Verificar nivel de la maquina	60			O																
Limpiar maquina en su totalidad	120				O															
Nivelar maquina	40				O															
Cambiar correas de transmisión	120					O														
SISTEMA DE LUBRICACIÓN																				
Revisar los intervalos de operación	40			O																
Revisar presión del sistema	20			O																
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																				
Revisar luces indicadores de operación	20	O																		
Revisar contactores eléctricos	20		O																	
Inspeccionar componentes del gabinete	20		O																	
Revisar ajuste tornillo borneras	20		O																	
Revisar voltaje de entrada	10				O															
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN																				
Verificar nivel de refrigerante	10	O																		
Limpiar / Reemplazar filtro del refrigerante	120		O																	
Drenar refrigerante	120				O															


Fuente: El autor.

Formato 22. Rutina de inspección para sponge jet.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO						RUTINA DE INSPECCION BLASTING												FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01	
DESCRIPCION DE LA RUTINA	PERIODICIDAD TIEMPO (MIN)	SEMANAL	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO													
								Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
SISTEMA MECANICO																					
Inspeccionar funcionamiento maquina	10		O																		
Revisar estructura de la maquina	10			O																	
Revisar Tolva	20				O																
Engrasar puntos que lo requieran	20				O																
Limpiar maquina en su totalidad	120				O																
Revisar extractor	40				O																
Cambiar filtros	60					O															
Cambiar rodamientos motor extractor	120						O														
SISTEMA ELECTRICO																					
Revisar switch seguridad de la puerta	10				O																
Revisar tablero eléctrico	20				O																
Revisar contactores	20				O																
Revisar ajuste tornillos de borneras	20				O																
Revisar cables eléctricos	20				O																
SISTEMA NEUMATICO																					
Limpiar filtro/ Regulador	40		O																		
Revisar el suministro de aire	60		O																		
Revisar fugas en el sistema	120		O																		
Revisar mangueras y tuberías	120		O																		
Revisar Unidad de mantenimiento	120			O																	
Revisar Válvulas	90			O																	
Revisar pedal de accionamiento	20				O																


Fuente: El autor.

Formato 23. Rutina de inspección para fresadoras.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION FRESADORAS		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01									
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	MESES	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO											
DESCRIPCION DE LA Rutina		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC					
SISTEMA MECANICO																		
Inspeccionar funcionamiento maquina	20																	
Inspeccionar bancadas	20																	
Revisar estructura maquina	20																	
Revisar y ajustar correas y poleas de transmisión	60																	
Revisar volantes y palancas de mando	20																	
Revisar rodamientos de motores	40																	
Revisar rodamientos del Cabezal	60																	
Revisar caja de velocidades	90																	
Engrasar puntos que lo requieren	20																	
Verificar nivel de la maquina	20																	
Limpiar maquina en su totalidad	120																	
Nivelar maquina	60																	
Cambiar correas de transmisión	120																	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN																		
Revisar los intervalos de operación	20																	
Revisar presión del sistema	20																	
SISTEMA ELECTRICICO Y ELECTRONICO																		
Revisar luces indicadores de operación	10																	
Revisar contactores eléctricos	20																	
Inspeccionar componentes del gabinete	20																	
Revisar ajuste tornillo borneras	20																	
Revisar voltaje de entrada	10																	
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN																		
Verificar nivel de refrigerante	10																	
Limpiar / Reemplazar filtro del refrigerante	120																	
Drainar refrigerante	60																	


Fuente: El autor.

Formato 24. Rutina de inspección para amortajadora.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION AMORTAJADORA		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01									
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	MESES	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO											
DESCRIPCION DE LA Rutina		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC					
SISTEMA MECANICO																		
Inspeccionar funcionamiento maquina	20																	
Inspeccionar bancadas	20																	
Revisar estructura maquina	20																	
Revisar y ajustar correas y poleas de transmisión	60																	
Revisar volantes y palancas de mando	10																	
Revisar rodamientos de motores	40																	
Revisar rodamientos del Cabezal	60																	
Revisar caja de velocidades	120																	
Engrasar puntos que lo requieren	20																	
Verificar nivel de la maquina	10																	
Limpiar maquina en su totalidad	120																	
Nivelar maquina	40																	
Cambiar correas de transmisión	120																	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN																		
Revisar los intervalos de operación	20																	
Revisar presión del sistema	20																	
SISTEMA ELECTRICICO Y ELECTRONICO																		
Revisar luces indicadores de operación	10																	
Revisar contactores eléctricos	20																	
Inspeccionar componentes del gabinete	20																	
Revisar ajuste tornillo borneras	20																	
Revisar voltaje de entrada	10																	


Fuente: El autor.

Formato 25. Rutina de inspección para tornos verticales.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION TORNOS VERTICALES		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01															
DESCRIPCION DE LA RUTINA	PERIODICIDAD TIEMPO (MIN)	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO																	
							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agro	Sep	Oct	Nov	Dic						
SISTEMA MECANICO																								
Inspeccionar funcionamiento maquina	30	0																						
Inspeccionar guias lineales	60	0																						
Revisar estructura maquina	120		0																					
Revisar y ajustar correas de transmisión	120		0																					
Revisar rodamientos de motores	120			0																				
Revisar rodamientos de Husillo	120			0																				
Revisar caja de velocidades	180			0																				
Revisar Cross beam	60			0																				
Engrasar puntos que lo requieren	60			0																				
Verificar nivel de la maquina	120			0																				
Revisar alineamiento y juego tornillo de bolas	120			0																				
Ajustar tornillos en general (Dar Torque)	180			0																				
Limpiar maquina en su totalidad	180				0																			
Nivelar maquina	180				0																			
Cambiar correas de transmisión	120					0																		
SISTEMA HIDRAULICO																								
Revisar fugas del sistema hidraulico	60	0																						
Limpiar colador de aceite	60	0																						
Cambiar el filtro del aceite	60				0																			
Cambiar aceite hidráulico	120				0																			
Limpiar el tanque del aceite	120				0																			
SISTEMA DE LUBRICACIÓN																								
Revisar los intervalos de operación	30			0																				
Limpiar/cambiar filtros de lubricacion	60	0																						
Cambiar el filtro del aceite	90				0																			
Revisar presión del sistema	60			0																				
SISTEMA NEUMATICO																								
Limpiar filtro / regulador	30	0																						
Revisar el suministro de aire	60	0																						
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																								
Limpiar filtros del gabinete	30	0																						
Revisar ventiladores de enfriamiento	60	0																						
Revisar luces indicadores de operación	20	0																						
Inspeccionar componentes del gabinete	20		0																					
Revisar ajuste tornillo borneras	60		0																					
Revisar voltaje de entrada	10				0																			
Cambiar baterías	60				0																			
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN																								
Verificar nivel de refrigerante	20	0																						
Limpiar / Reemplazar filtro del refrigerante	60		0																					
Drenar refrigerante	60				0																			


Fuente: El autor.

Formato 26. Rutina de inspección para compresor.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION COMPRESOR		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01											
DESCRIPCION DE LA RUTINA	PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)						AÑO												
			3000 HRS	6000 HRS	9000 HRS	12000 HRS	15000 HRS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
SISTEMA MECANICO																				
Inspección y limpieza general del equipo		120	0																	
Revisión y ajuste de las poleas de transmisión		120			0															
Revisión y ajuste de las correas de transmisión		120		0																
Cambio del filtro de aire		60	0																	
Limpiar el enfriador		30			0															
Cambiar el cartucho separador de aceite		30		0																
Verificar el estado de los rodamientos		60				0														
Revisar la función de apagado y sobrecalentamiento		60																		
Verificar fugas del enfriador		30			0															
Revisión de acople		30	0																	
Revisar presión del aceite		20		0																
Verificar nivel de aceite refrigerante		20			0															
Cambiar el filtro del aceite		60		0																
Cambiar aceite refrigerante		60		0																
Limpiar el tanque del aceite		120				0														
SISTEMA NEUMATICO																				
Revisar y calibrar válvula de seguridad		120				0														
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																				
Cambiar filtro de gabinete		20	0																	
Revisar luces indicadores de operación		20	0																	
Inspeccionar componentes del gabinete		20				0														
Revisar ajuste tornillo borneras		30				0														
Revisar voltaje de entrada y consumo		10		0																
SECADOR REFRIGERATIVO																				
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																				
Inspeccionar componentes del gabinete		20				0														
SISTEMA MECANICO																				
Revisar el drenaje del condensado		30	0																	
Limpiar el condensador refrigerativo		60			0															
Revisar el circuito refrigerativo		20				0														
Revisar el interruptor de seguridad		10		0																


Fuente: El autor.

Formato 27. Rutina de inspección para balanceadora.

		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION BALANCEADORAS		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01									
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	MENSUAL	3 MESES	6 MESES	12 MESES	24 MESES	AÑO											
DESCRIPCION DE LA RUTINA							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
SISTEMA MECANICO																		
Inspeccionar funcionamiento maquina	20	O																
Inspeccionar bancadas	20	O																
Revisar estructura maquina	30	O																
Revisar volantes y palancas de mando	10	O																
Limpiar maquina en su totalidad	120	O																
Nivelar maquina	90			O														
Cambiar rodamientos de motores	120				O													
						O												
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																		
Revisar luces indicadores de operación	10	O																
Revisar contactores eléctricos	20			O														
Inspeccionar componentes del gabinete	20			O														
Revisar ajuste tornillo borneras	20			O														
Revisar voltaje de entrada	10	O																
Servicio Técnico - Outsourcing - Mantenimiento y Reparación de Maquinaria																		

Fuente: El autor.

Formato 28. Rutina de inspección para montacargas.


		MANTENIMIENTO PREVENTIVO					RUTINA DE INSPECCION MONTACARGA		FT-MTTO-02 16 OCTUBRE-2013 VERSION 01									
PERIODICIDAD	TIEMPO (MIN)	2500Hrs	2750Hrs	3000Hrs	3250Hrs	3500Hrs	AÑO											
DESCRIPCION DE LA RUTINA							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
SISTEMA MECANICO																		
Cambio aceite motor	90	O	O	O	O	O												
Cambio filtro motor	30	O	O	O	O	O												
Cambio filtro de gas	60	O	O	O	O	O												
Cambio filtro de combustible	60	O	O	O	O	O												
Cambio filtro de retorno de hidráulico	60	O	O	O	O	O												
Cambio de aceite hidráulico	90	O	O	O	O	O												
Cambio aceite de transmisión	10	O	O	O	O	O												
Lubricación y engrase de maquina	120	O	O	O	O	O												
SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO																		
Revisar luces indicadores de operación	30	O	O	O	O	O												
Revisar sistemas de seguridad	30	O	O	O	O	O												
Inspeccionar componentes del gabinete	30	O	O	O	O	O												
Revisar ajuste tornillo borneras	30	O	O	O	O	O												
Servicio Técnico - Outsourcing - Mantenimiento y Reparación de Maquinaria																		

Fuente: El autor.

6.3 MATRIZ DE EQUIPOS Y TIEMPOS DE INSPECCION

Mediante la matriz de equipos y tiempos de inspección se busca tener claridad acerca de los tiempos en minutos requeridos para ejecutar las actividades por equipo de esta manera poder fijar las rutas según frecuencia, de esta forma;

Tabla 14. Matriz de equipos y tiempos de inspección en minutos

		MATRIZ DE EQUIPOS & TIEMPOS DE INSPECCION			
CODIGO	F2	F4	F13	F26	F52
TP-01	-	160	140	360	290
TP-02	-	160	140	360	290
TP-03	-	160	140	360	290
TP-04	-	160	140	360	290
TP-05	-	160	140	360	290
TCNC-01	-	-	-	-	-
TVCNC-01	-	490	380	1050	880
TR-01	-	50	270	400	290
AL-01	-	80	290	240	250
AL-02	-	80	290	240	250
FR-01	-	120	220	270	250
AM-01	-	110	90	290	170
CDM-01	-	20	-	460	-
SJ-01	-	50	220	310	60
EP-01	-	-	-	-	-
PE-01	-	-	-	-	-
COM-01	-	280	310	260	390
BL-01	-	220	-	150	120
SOL-01	-	-	-	-	-
MC-01	-	640	640	640	640
PG-01	-	-	-	-	-
FURGON	-	-	-	-	-
CP-01	-	-	-	-	-
CI-01	-	-	-	-	-
BP-01	-	-	-	-	-
TOTAL	0	2940	3410	6110	4750

	MINUTOS	HORAS
TIEMPO TOTAL DE INSPECCIONES AL AÑO:	65890	1098,17
TIEMPO TOTAL DE INSPECCIONES AL SEMESTRE:	32945	549,08
TIEMPO TOTAL DE INSPECCIONES AL TRIMESTRE:	16472,5	274,54
TIEMPO TOTAL DE INSPECCIONES AL MES:	5490,833333	91,51

Fuente: El autor.

De esta manera se visualiza los tiempos en minutos y horas requeridas por mes, trimestre, semestre y año para cada frecuencia de inspección, y teniendo en cuenta que las horas trabajadas por jornada laboral en el mes (170 horas igual 10200 minutos) y que los minutos totales de inspección al mes (5490 minutos igual a 91,5 horas) se hace necesario el crecimiento del área de mantenimiento partiendo de la vinculación de un técnico mecánico y un técnico electricista. Igualmente vincular a trabajadores y operarios de las máquinas en general a realizar un mantenimiento autónomo y proactivo de sus equipos con el fin de llevar a cabo un apropiado plan de mantenimiento preventivo.

6.4 MODELO DE ANALISIS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO

Todo proyecto tiene como finalidad, obtener un beneficio; en este caso el objetivo final es tener un programa de mantenimiento para la maquinaria de producción de bombas centrifugas, que permita reducir el número de paradas imprevistas al menor costo posible.

6.4.1 Costos Fijos

Son los costos que se refieren a todas las acciones planeadas de mantenimiento, implican los valores que se pagan por usar todos los instrumentos (básicos, avanzados, genéricos y específicos como los específicos de orden técnico) que se requieren para llevar a cabo las tareas proactivas.

Son fijos porque son independientes del volumen de producción o servicios que se haga, como también porque son planeados para periodos lectivos de tiempo definidos previamente.

Se controlan mediante una buena planeación de las tareas proactivas basadas netamente en los pronósticos CMD de los equipos, por medio de los cuales se puede establecer la cantidad y la frecuencia de las intervenciones planeadas mínimas de tal forma que se conserven la confiabilidad.

6.4.2 Costos Variables

Son los gastos en que se incurre cuando aparecen fallas o reparaciones no planeadas. Todas las acciones correctivas o modificativas no planeadas generan ese tipo de costos, igual que el anterior sus valores dependen de la mano de obra, repuestos, materiales, instrumentos de mantenimiento, etc. Que se usan para llevar a cabo reparaciones o modificaciones para los equipos.

Estos costos se pueden controlar mediante la aplicación de instrumentos como el análisis de fallas, el procedimiento FMECA, el RPN, análisis predictivos y demás instrumentos disponibles que eviten a toda costa las fallas.

6.4.3 Costos Financieros

La inversión que se tenga en repuestos, insumos y/o materias primas de mantenimiento en almacenes, la duplicidad de maquinaria para elevar la confiabilidad (o disponibilidad) y demás valores asociados generan los costos financieros.

6.4.4 Costos de la no disponibilidad por fallas

El valor que implica no poder utilizar una máquina debido a reparaciones o modificaciones, causados por fallas imprevistas es el rubro más importante en los costos de mantenimiento, normalmente es superior a los otros tres anteriores sumados y es el que probablemente menos atención se le presta, pero es indudablemente el más relevante de todos.¹³


Para dicho control de costos en el plan de mantenimiento, se trabajará con base en el formato FT-MTTO-03 orden de trabajo, donde se debe incluir un valor fijado por el área financiera de CHF según pieza fabricada en dicho equipo, igualmente

¹³ COSTOS DE MANTENIMIENTO, MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, Medellín p.324

diferenciar si el trabajo realizado es correctivo (costos variables) o preventivo (costos fijos) indicando si la actividad incurre en parada o no del equipo. De esta forma incluir número de personas, tiempo de mano de obra, repuestos, materiales en cada actividad y determinar su valor real de OT.

Dicha orden de trabajo mostrará a futuro el detalle de todas las actividades sean correctivas o preventivas garantizando la trazabilidad de los trabajos realizados indicando los recursos físicos, materiales, humanos y financieros.

Formato 29. Orden de trabajo.

		ORDEN DE TRABAJO				FT-MTTO-03 18-OCTUBRE-2013 VERSION 1	
CODIGO EQUIPO		EQUIPO:				N° O/T:	
FECHA EMISION		C . H . F	COD. IMPORTANCIA	COD. TRABAJO	PRIORIDAD	CON PARADA	
FECHA EJECUCION		\$ -				SIN PARADA	
TRABAJO A EJECUTAR				TRABAJO EJECUTADO			
MATERIALES Y HERRAMIENTAS A EMPLEAR				MATERIALES Y HERRAMIENTAS ADICIONALES EMPLEADOS			
REPUESTOS A UTILIZAR		UTILIZADOS		REPUESTOS ADICIONALES UTILIZADOS			
		SI	NO				
CONSIGNAS DE SEGURIDAD				TRABAJO ADICIONALES PENDIENTES			
N° PERSONAS PREVISTAS		TIEMPO PREVISTO (MIN)	H-H PREVISTAS	CORRECTIVA		TIEMPO DE PARADA DE PRODUCCION:	
				PREVENTIVA		0	
				Si Correctiva		COSTO H-H: \$ -	
				ERROR DE PLANEACION		COSTO MATERIALES	
				ERROR DE INSPECCION		COSTO REPUESTOS:	
				A considerar repetitiva		TOTAL \$ -	
				SI			
				NO			
Responsable:				Ejecutado por:		Aprobado C NC	

Fuente: El autor.

7. CONCLUSIONES

El proceso productivo de Flowserve Colombia en la fabricación de equipos de bombeo tiene puntos y labores críticas a nivel interno, que requieren del más óptimo nivel de tecnología en sus equipos de proceso y la mayor preparación y conocimiento en su talento humano, lo cual permite dar un valor agregado gracias a la experiencia y know how del personal.

Flowserve Colombia, cuenta con los equipos idóneos para cubrir las necesidades de producción, gracias a la especialización de trabajos por máquina y operario lo cual crea la necesidad de aumentar la disponibilidad en los equipos, así como tener la perspectiva clara del alcance y límites de la planta sus máquinas y sus herramientas.

El análisis de criticidad realizado a los equipos que intervienen en el proceso productivo de bombas centrifugas muestra una totalidad de 5 equipos críticos y 12 semicriticos, los cuales son los de mayor importancia e impacto en el proceso y a los cuales se les ha desarrollado el modelo de gestión de plan de mantenimiento preventivo.

Con base en la recolección de datos históricos de un periodo de tres meses de trabajos correctivos, se procedió a realizar cálculos de disponibilidad genérica a los equipos de mayor criticidad, arrojando resultados relativamente altos entre 93 y 95% con la intención de aumentar dichos valores.

Se diseñó el modelo de mantenimiento preventivo partiendo de fichas técnicas, rutinas de inspección, matriz de tiempos indicando 91,5 horas mensuales en actividades de inspección y creación de orden de trabajo que reflejara los costos asociados por mantenimientos correctivos y planeados.

BIBLIOGRAFIA

ALBARRACIN AGUILLON, Pedro Ramón. Tribología y Lubricación. Bogotá 2012.

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bogotá 2012.

FLOWSERVE CO. Instalación, Operación y Mantenimiento Bombas LR. Chesapeake 2008.

GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento Preventivo. Bogotá 2012.

GONZALEZ JAIMES, Isnardo. Seminario I: Profundización Bibliográfica. Bogotá 2012.

GONZALEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de especialización. Bogotá 2013.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2002.

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellín, Coldi 2012.

TAMAYO DOMINGUEZ, Carlos Mario. Memorias de estudio gerencia de mantenimiento, Bogotá 2013.