

## **DISEÑO DE UN MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN MONITOREO DEL MEDIO AMBIENTE EN SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE HUMOS EN SIDOR**

JOAQUÍN SANTOS<sup>1</sup>, OMAR MEDINA<sup>2</sup>, MIGUEL STREFEZZA<sup>1</sup> Y LEONARDO CONTRERAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Simón Bolívar, Dpto. de Procesos y Sistemas, Apartado 89000, Valle de Sartenejas, Edo. Miranda 9995. Venezuela.

<sup>2</sup> Ternium-Sidor, Acería, Gerencia de Mantenimiento, Puerto Ordaz, Edo. Bolívar, Venezuela.  
jsantos@usb.ve, omedina@terniumsidor.com, strefeza@usb.ve, leocon@usb.ve

Recibido: abril de 2007

Recibido en forma final revisado: noviembre de 2007

### **RESUMEN**

Históricamente la empresa SIDOR ha tenido dos etapas fundamentales, una antes de la privatización y otra después de ésta. Esta afirmación se soporta en que las reparaciones de los sistemas se hacían en base a la rotura y no al deterioro por vida útil. Actualmente es una política de la compañía la determinación y ejecución de acciones sobre el control del medio ambiente, las operaciones, sistemas, maquinarias, procesos y equipos. En este trabajo se propone un modelo de gestión de mantenimiento orientado dentro de la política de medio ambiente de la empresa, los sistemas deben operar dentro de estándares nacionales e internacionales a fin de no impactar en el ambiente. Las normas tanto nacionales como internacionales establecen un marco donde las empresas deben cumplir estos requerimientos a fin de poder permanecer en los mercados. Se ha seleccionado el área de manejo de humos por ser una potencial fuente de contaminación del aire, afectando la calidad y condiciones de higiene del trabajo en planta, el modelo hace una contribución para reducir el impacto de los contaminantes y también permite un mejor uso de los recursos. El modelo puede ser aplicado a sistemas de este tipo, y así crear un estándar de mantenimiento para estos, garantizando además las exigencias actuales que posee la empresa.

*Palabras clave:* Modelo, Ambiente, Control, Estándares, Mantenimiento.

### **MAINTENANCE MODEL BASED ON MONITORING THE ENVIRONMENT ON PURIFYING FUME SYSTEMS AT SIDOR**

#### **ABSTRACT**

The Sidor Company can, historically, be divided into two very well defined periods, the first one before privatization and the second after. Currently, as a part of Company policy, it is necessary to establish and execute actions in order to control the environmental impact of operations, systems, machineries, processes and equipment. The traditional approach in Sidor was to repair systems, machineries, etc, when those broke down without giving proper attention to the life cycle deterioration of the systems as a result of use and its effects on the environment due to use and maintenance. This work presents a maintenance model oriented within the environmental policy of the company and the life cycle of the equipment. It is determined that the systems must operate within local and international standards in order to reduce and control fume contaminants that are given off into the atmosphere. Venezuelan norms as well as international ones are useful in establishing a framework where the companies must fulfill these requirements in order to comply with concerns as to environment issues. Companies that do not fulfill this approach cannot compete in the global market. The inappropriate handling can be one of the main causes of pollution affecting the quality and conditions of surrounding air in plants and in the neighborhood, and thus the model contributes to reducing the impact of the contaminants and also improving the use of resources and can be applied to systems of this type with the purpose of creating maintenance standards capable of guaranteeing current demands on controlling environmental impacts.

*Keywords:* Model, Environment, Control, Standards, Maintenance.

#### **INTRODUCCIÓN**

La Siderúrgica del Orinoco (SIDOR) está ubicada en la zona

industrial Matanzas de la ciudad de Puerto Ordaz – Estado Bolívar, Venezuela, es una empresa fabricante de productos de acero: planchones, bobinas, láminas, cabillas, alambón,

entre otros y está formada por 22 plantas agrupadas en: Pre-reducidos, Acerías, Productos planos y Productos largos. Las Acerías y Pre-reducidos tienen sistemas para depuración de humos, su mantenimiento es responsabilidad directa del sector de mantenimiento de planta a través de los Grupos Técnicos (GP) y sus planes, siendo obligante el cumplir con las políticas sobre medio ambiente establecidas por la empresa. En Sidor las políticas ambientales, establecen entre otras cosas lo siguiente:

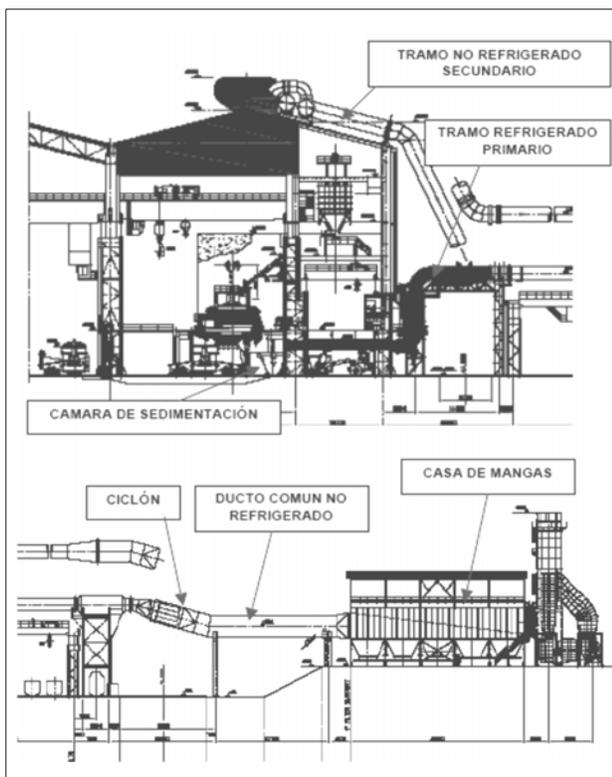
- Cumplir la legislación ambiental vigente.
- Utilizar racionalmente los recursos naturales.
- Aplicar mejoras continuas en los sistemas existentes.
- Incorporar tecnología ambientalmente limpia en los equipos y procesos.

Las exigencias sobre el cumplimiento del control ambiental han hecho cambiar las estrategias y formas de gestionar los sistemas de depuración de humos. La política de la empresa exige producir con las mínimas emisiones de polvo al medio ambiente, para ello se han establecido auditorías permanentes tanto internas como por parte del estado venezolano, con el fin de evaluar que los sistemas trabajen adecuadamente bajo las normas establecidas. En las Acerías se ejecuta un plan de adecuación desde el año 2003, en este plan se contemplan reparaciones para colocar los sistemas de aspiración de humos en un estándar de operación establecido por la gerencia general en los planes operativos y además lograr su actualización tecnológica. Para realizar la adecuación es necesario establecer, desarrollar e implementar un modelo que unifique la forma de gestión de los sistemas de aspiración de humos, en sus aspectos operación-mantenimiento, y a la vez cumplir con las exigencias sobre el medio ambiente. El manejo de pasivos ambientales, requiere elaborar planes de inversión y poder cumplir las normativas del estado venezolano en materia del control ambiental. Los sistemas se han venido atendiendo con un 80% de mantenimiento correctivo y 20% del tipo preventivo, ello genera altos gastos de materiales y mano de obra, además de las pérdidas de producción. Se requiere un modelo de mantenimiento en los sistemas de aspiración de humo que controle las emisiones de polvo al ambiente y cumpla con las regulaciones establecidas en el decreto 638 del 26 de abril de 1995 publicado en la Gaceta Oficial 4899, en el cual se establecen las «Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica».

El modelo de mantenimiento debe entonces; permitir alcanzar estándares de mantenimiento que garanticen la eficiencia de los sistemas de depuración de humos y se cumplan las normas (Gano, 1989; República Bolivariana de Venezuela, SIDOR, 1998-1).

## SISTEMA DE ASPIRACIÓN DE HUMOS

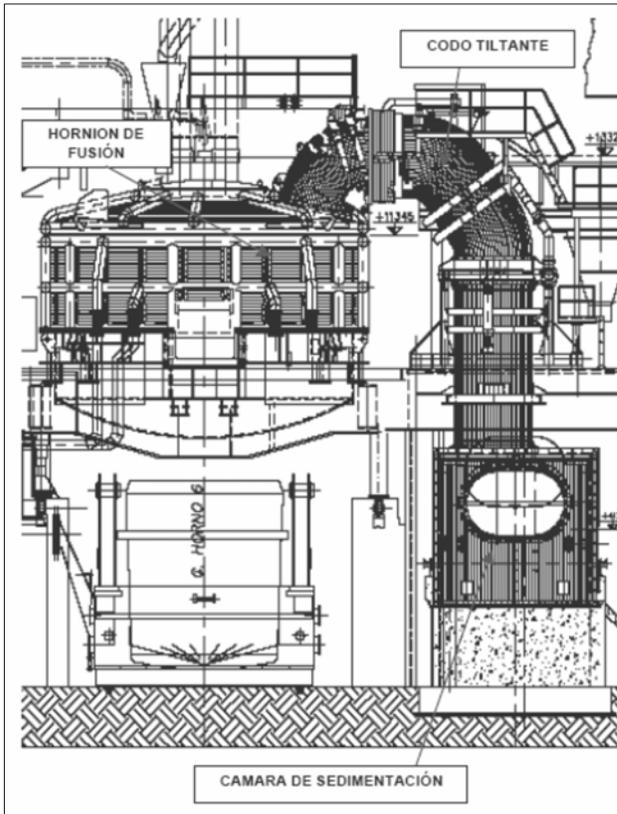
El sistema de aspiración de humos, figuras 1 y 2, controla las emisiones de partículas generadas por el Horno Eléctrico. Este sistema ha sido concebido para controlar y depurar emisiones primarias y emisiones secundarias durante la carga, fusión, remoción de escoria y colada del acero (BHA, 1998). El caudal de aspiración se distribuye en tres secciones, la primera, central y alineada con el horno (primaria); y las otras dos son las laterales (secundaria). En la operación de fusión se activa la aspiración central y durante las operaciones de carga y colada permanecen activadas todas las secciones (SIDOR, 1998-2).



**Figura 1.** Esquema del horno de fusión y su sistema de aspiración.

Fuente: esquemas del horno instalado en SIDOR.

Los humos primarios, generados en las operaciones de fusión y afinado, se aspiran a través del hoyo existente en la bóveda del horno y de allí van a un codo de tubos enfriados por agua. La geometría del codo y su espesor limitan los fenómenos erosivos y le dan una mayor duración. En el codo se realiza el pasaje de los humos a los conductos enfriados y de allí a la cámara de sedimentación. Por medio de una abertura entre el codo fijo de la bóveda y el móvil, cuya posición puede ser variada empleando un manguito corredizo, se aspira el aire externo necesario para la completa combustión del Monóxido de Carbono (CO) presente en los humos. Posterior al codo articulado, existe la cámara de sedimentación, donde se separan los materiales gruesos



**Figura 2.** Esquema mostrando el codo y la cámara de sedimentación.

Fuente: esquemas del horno instalado en Sidor.

arrastrados por el flujo de los humos, esto evita su depósito en los tramos fijos. El material separado es periódicamente evacuado del fondo de la cámara usando un acceso que tiene diseñado para tal fin. Después de la cámara de sedimentación se encuentra el tramo refrigerado primario, en el cual se enfrían los humos a un valor predeterminado según se establezca en el sistema de control de temperatura disponible para este fin, en general se desean temperaturas inferiores a los 600 °C. El sistema permite la inspección de los conductos para facilitar el mantenimiento. Al final del tramo se encuentra una compuerta que permite la regulación de la depresión en el agujero; después de dicha regulación, existe otra compuerta a través de la cual se toma aire externo para asegurar que la temperatura de los humos no supere los 500 °C.

Los humos primarios pasan por un tramo no refrigerado y se unen en un colector común a los humos del secundario donde se mezclan, la temperatura resultante debe ser menor o igual a 120 °C. Los humos secundarios son captados a través de campanas ubicadas en el techo sobre los hornos. Las campanas están construidas siguiendo el perfil del techo justo sobre el horno. Allí se han dispuesto campanas en sustitución de los sistemas de ventilación estáticos «Robertson» asegurando con ello una adecuada evacuación

de los humos (ILAFA, 1975; ILAFA,1988). En las zonas adyacentes se mantiene el «Robertson» para asegurar la ventilación natural necesaria para evacuar la carga térmica presente en el edificio.

La captación en el humo secundario tiene válvulas para controlar el flujo de aspiración. Al juntar los humos del primario y secundario, estos se pasan a través de un ciclón y en él se separan las partículas gruesas no capturadas en la cámara de sedimentación, luego se pasan por el ducto común no refrigerado de 4200 mm de diámetro y de allí siguen hacia la casa de mangas. La casa de mangas es la unidad de filtración empleada para depurar los humos (ILAFA, 1985). El contenido residual de polvo en los humos depurados corresponde a un valor medio de 50 µg/m³.

La unidad de filtración está constituida por un filtro independiente del tipo en depresión y la limpieza de las mangas se hace con aire comprimido, con los siguientes elementos:

- Conjunto de mangas para filtrado.
- Sistema de limpieza tipo Pulse Jet.
- Sistema de transporte para manejo del polvo colectado tipo Redler.
- Silo para almacenamiento del polvo colectado capacidad 80 TN.
- Conjunto de aspiración compuesto por tres (3) ventiladores.

La tabla 1 muestra las características técnicas del filtro y del conjunto de aspiración.

**Tabla 1.** Características técnico-funcionales del filtro.

Etapas operativas	Unidad	Fusión	Carga/Colada
Caudal total máx. humos al filtro	m³/h	1.200.000	1.200.000
Potencia instalada para motores (3 c/u)	KW	1.200 c/u	1.200 c/u
Caudal de humos primarios	Nm³/h	150.000	0
Caudal de humos secundarios	Nm³/h	650.000	960.000
Temperatura de funcionamiento del filtro	°C	130	60
Superficie de filtrado	m²	13.500	-
Velocidad de filtrado	m/min	1,48	-
Material de las mangas	-	Fieltro punzonado	-
Gramaje del tejido	gr/m²	550	-
Consumo de aire de limpieza	Nm³/h	1.800	-

(Obtenidas de la información técnica del fabricante).

## MODELO DE MANTENIMIENTO

El modelo de Gestión de Mantenimiento desarrollado es, para el sistema de Aspiración de Humos, un equipo de limpieza tipo Pulse Jet, instalado en el Horno 6 de la Acería de Planchones, dicha tecnología es la más utilizada en las plantas de Sidor, y hay instalados un total de 32 equipos.

El sistema en evaluación es el de mayor capacidad instalada, maneja 1.200.000 m<sup>3</sup>/hr, por tanto el modelo propuesto puede ser aplicado al resto de los equipos de la misma tecnología y de menor capacidad.

En el modelo se considera el control de las emisiones de polvo producidas por el proceso de fundición en los hornos, a partir de tener dos zonas como referencia para el control: el techo de la Acería y la chimenea de descarga de la casa de humos.

En el techo de la Acería se puede establecer un control de tipo visual. Actualmente hay una instalación para monitoreo, constituida por una cámara en línea donde se puede observar desde cualquier computador portátil o computador en red el estado de las emisiones; de esta forma se puede dar un aviso al equipo de mantenimiento para revisar y corregir. En el caso donde las emisiones son en techo abierto no se cuenta con tecnología para medir la emisión en µg/Nm<sup>3</sup>.

Para la chimenea de descarga existe en la empresa la tecnología de medición en línea, pero actualmente no está instalada, esto hace que el control también sea de tipo visual. Tomando como referencia la variable de control preestablecida, se plantea ordenar los diferentes componentes y definir el modelo para aplicarlo a los siguientes sectores del equipo:

- Codo articulado
- Cámara de Sedimentación
- Tramo Refrigerado Primario
- Tramo no Refrigerado Secundario
- Ducto Común no Refrigerado
- Ciclón
- Casa de Mangas

El modelo actual de mantenimiento no está orientado al control de las emisiones, ya que fue concebido dentro de lo que se considera la segunda generación del enfoque de mantenimiento, la cual abarca desde 1940 hasta mediados de los años 70, el enfoque inicial estaba en la seguridad de los equipos, se buscaba que estos no fallaran, se trataba de disminuir la tasa de accidentes ocasionados por fallas en los equipos, pero por ejemplo no se contemplaba impacto ambiental (Moubray, 2001).

Las características del sistema de mantenimiento actual son:

- Las averías que no paran la producción no son cargadas sistemáticamente al sistema de información automatizada, esto impacta la posibilidad de realizar un análisis confiable para mejorar la gestión.
- Faltan, o no son claros los procedimientos de ejecución que garanticen disminuir el tiempo fuera de servicio de los sistemas.
- No están definidos dentro de los planes, las políticas de estandarización de procura, de las grandes piezas o componentes que por sus costos, tiempos de recambio y adquisición deberían considerarse como parte de una estrategia de mantenimiento.

A nivel de sistema automatizado de información y procesamiento de data (SAP), falta elaborar y complementar las tareas básicas de mantenimiento preventivo. No existe un apropiado plan de inspecciones especiales.

A pesar de la información reciente sobre el cambio de varios componentes que requieren paradas mayores, estos no están especificados, documentados ni vinculados a un plan de mantenimiento mayor.

A nivel de programación existe un plan de parada regular, el cual se ejecuta cada 45 días.

## MODELO PROPUESTO

Se hace necesario un modelo que incluya lo existente y se complemente con el enfoque de controlar el nivel de emisiones de polvos. En los últimos cinco años se han realizado tareas de mantenimiento basadas en lo siguiente (SIDOR, 2003; ISI, 1969):

- Cambios de elementos por desgaste y ciclo de vida útil.
- Actividades básicas de mantenimiento preventivo:
  - Rutinas de inspección
  - Rutinas de mantenimiento preventivo
  - Actividades de mantenimiento predictivo
  - Actividades de inspección de fallas ocultas
  - Mantenimiento correctivo
- El nuevo modelo considera los siguientes aspectos (Leviti, 2003):
  - Diseño del plan de mantenimiento preventivo–predictivo, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente, tales como emisiones y riesgos al personal.
  - Estrategia para control de materiales y repuestos.
  - Estrategia para control de los conjuntos y subconjuntos.

El modelo de mantenimiento preventivo propuesto contempla (Narayan, 2004; Salih *et al.*, 2000):

- Plan de Lubricación.
- Plan de Limpieza.
- Plan de Ajuste y Calibración.
- Plan de Sustitución de subconjuntos o partes (Recambio).
- Plan de Inspecciones.
- Tareas de mantenimiento predictivo.
- Gestión de Materiales y Repuestos.
- Gestión de conjuntos y subconjuntos.
- Análisis de costos.

En la figura 3 se presenta el flujograma general del modelo de mantenimiento propuesto para el sistema de aspiración de humos.

El plan agrupa las tareas, inspecciones o actividades rutinarias y extraordinarias que han de realizarse a los equipos o instalaciones, siguiendo las estrategias

establecidas para garantizar, la realización de un mantenimiento preventivo que asegure la confiabilidad de los equipos, y así lograr aumentar su disponibilidad prolongando además su vida útil.

### Plan de lubricación

Este plan identifica componentes a ser lubricados, la frecuencia para hacerlo, el fluido a usar, la cantidad de lubricante y el método para hacerlo. El plan establece la frecuencia de restitución o sustitución del lubricante, se respetan las especificaciones de los fabricantes en cuanto al tipo de fluido usado para la lubricación.

### Lubricación por grasa

La lubricación por grasa se divide en dos grupos: la aplicada

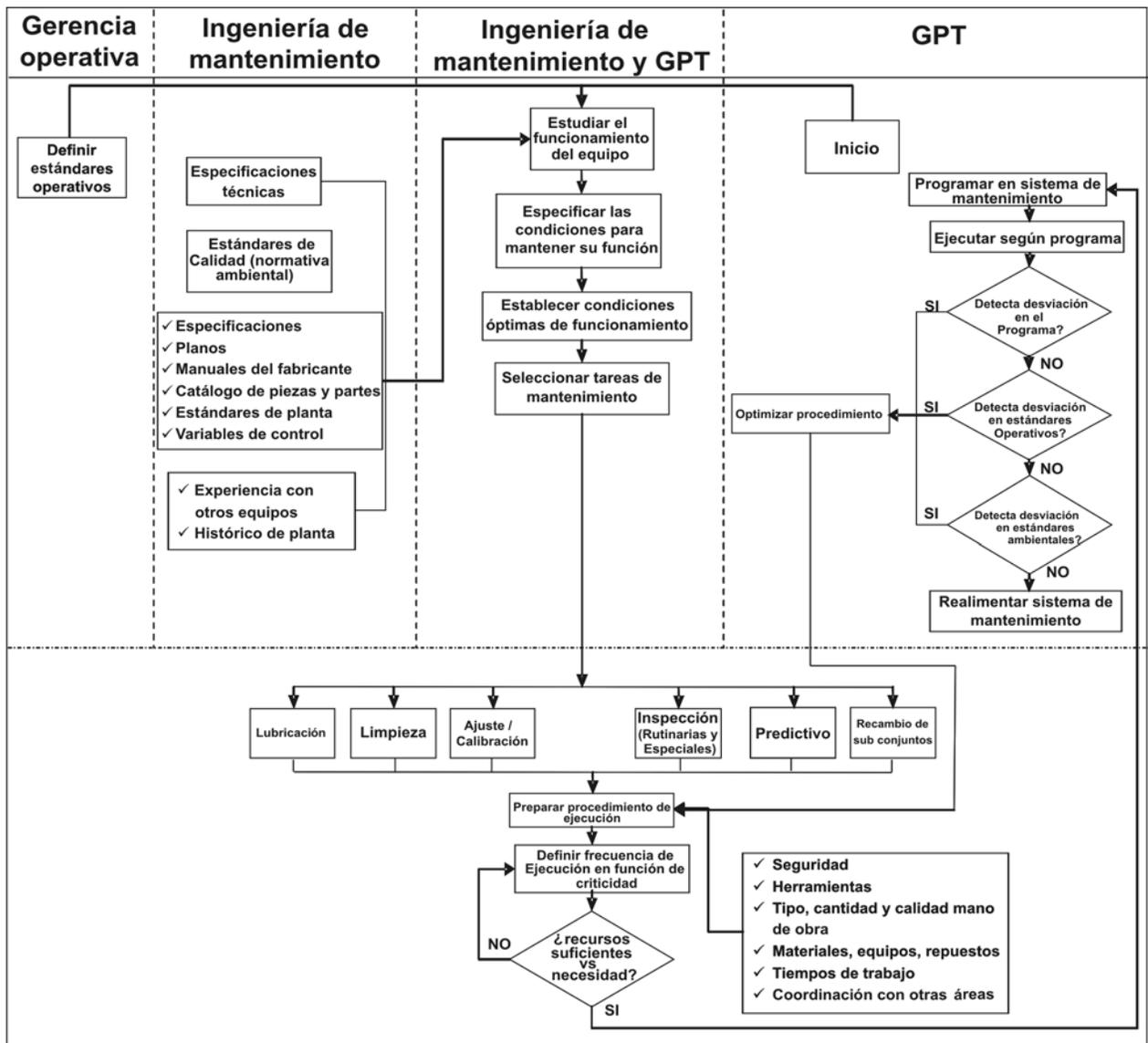


Figura 3. Modelo de mantenimiento propuesto. Fuente: elaboración propia.

a cojinetes y la aplicada a cualquier otro equipo instalado. Existen entonces dos criterios A y B, los cuales son empleados como sigue:

- Criterio A: para los cojinetes de elementos rodantes (rodamientos) la empresa SKF (1999), una de las mayores fabricantes de cojinetes ha desarrollado una ecuación de recarga de grasa, la cual es usada para el cálculo según la ecuación 1:

$$GK = (0,3 \dots 0,5) \times D \times B \times 10^{-4} \quad (1)$$

donde:

GK = cantidad de grasa a suministrar en g/h

D = diámetro exterior del rodamiento en mm

B = ancho del rodamiento en mm

- Criterio B: para los motores eléctricos de corriente alterna y demás equipos que requieren lubricación por grasa, el cálculo de la cantidad de grasa es empírico, se agrega grasa hasta que salga por los orificios de purga, lo cual indica que no es necesario agregar más grasa, los equipos inhalados están diseñados para operar con este sistema de lubricación.

### Lubricación por aceite

El caso de la lubricación por aceite, es fundamentalmente hacia la lubricación de cojinetes que requieren como lubricante un fluido (aceite específicamente). Esto es lo que se establece como criterio de lubricación C:

- Criterio C: se emplea para el caso de la lubricación de cojinetes con aceite, se dispone de sistemas instalados para dosificar el aceite por goteo directo, de esta forma la responsabilidad pasa directamente al plan de inspección rutinaria donde el inspector debe chequear el nivel de aceite y rellenar si es el caso.

En la figura 4 se muestra un flujograma con el procedimiento seguido para los componentes a los que se les puede aplicar el plan de lubricación.

### Plan de Limpieza

El plan consiste en programar la limpieza de los distintos equipos expuestos a la acumulación de sucio y mugre para así facilitar las labores de inspección y a la vez conservar las condiciones de higiene y seguridad requeridas. En la figura 5 se muestra un flujograma con el procedimiento seguido para enmarcar los componentes a los que se les puede aplicar el plan de limpieza.

Para tal efecto se describen en las prácticas de mantenimiento, protocolos para la estandarización de las mismas, todo como parte del plan y el programa de ejecución en el cual se define claramente los métodos de limpieza que se requieren para cada equipo, teniendo en cuenta que la seguridad debe contemplar, no afectar el desempeño del equipo por una mala práctica o un abuso de los químicos o equipos de limpieza y a la vez no generar riesgos y daños a personas y medio ambiente. Entre las formas de hacer el mantenimiento de limpieza se tienen:

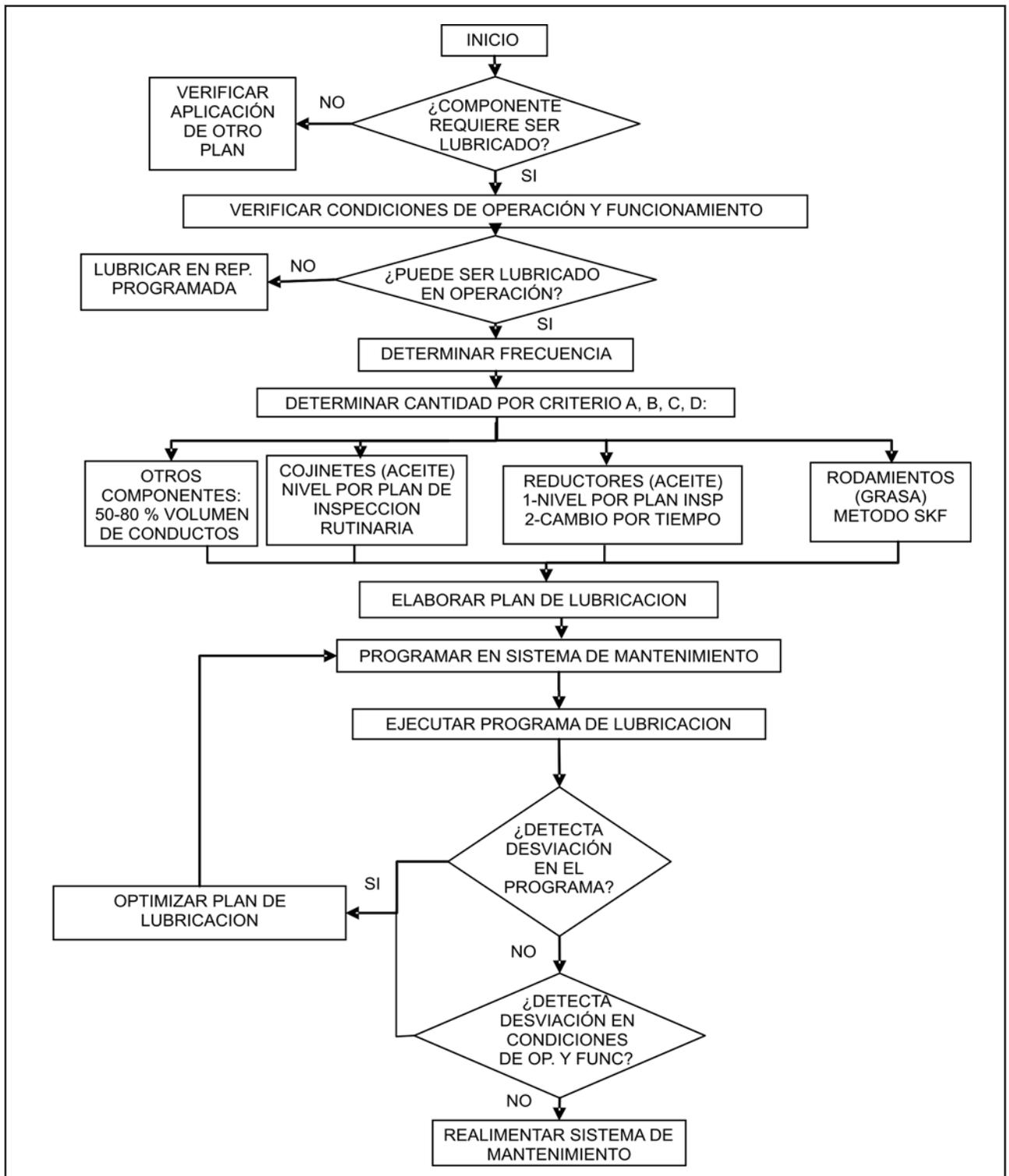
a) Lavado con hidrojete: este sistema es utilizado con mayor frecuencia para equipos y componentes que están en contacto con lubricantes, como aceites o grasas. Permite hacer un lavado exhaustivo sin el uso de detergentes agresivos que puedan dañar sellos, estoperas o elastómeros en general. Debe ser evitado en equipos donde exista la presencia de componentes eléctricos o electrónicos que no estén adecuadamente sellados para resistir el lavado.

b) Lavado con agua caliente: este es aplicado con un detergente agresivo, y generalmente debe ser acompañado por un restregamiento de la superficie a lavar. Es efectivo en zonas donde la acumulación o formación de lodos es de distinta índole. Debe ser evitado en equipos donde exista la presencia de componentes eléctricos o electrónicos que no estén adecuadamente sellados para resistir el lavado.

Limpieza con trapos: usada en componentes internos de las máquinas, donde la humedad o el uso de agua puede generar problemas de corrosión. Cuando se combina con el uso de líquidos desengrasantes, debe observarse el debido cuidado del uso de estos productos, evitando el contacto con la piel y materiales o componentes que puedan verse degradado o afectado.

b) Espátulas y cepillos metálicos: son necesarios para retirar cubiertas protectoras como pinturas, cubrimientos epóxicos, o sedimentos. Debe tenerse especial cuidado en piezas cuyos materiales sean blandos ya que se pueden producir desgastes indeseados. También debe usarse implementos de seguridad en las manos para evitar excoriaciones en la piel. Todos los métodos de limpieza deben ser evaluados con cautela, ya que el uso de algunos productos o técnicas pueden estar contraindicadas para algunos materiales o equipos, y su uso puede causar un deterioro prematuro, a un componente que no resista el uso de alguna sustancia o método específico.

Las sustancias o métodos empleados pueden causar daños a los seres humanos si no se tiene el cuidado necesario para su manipulación y uso.

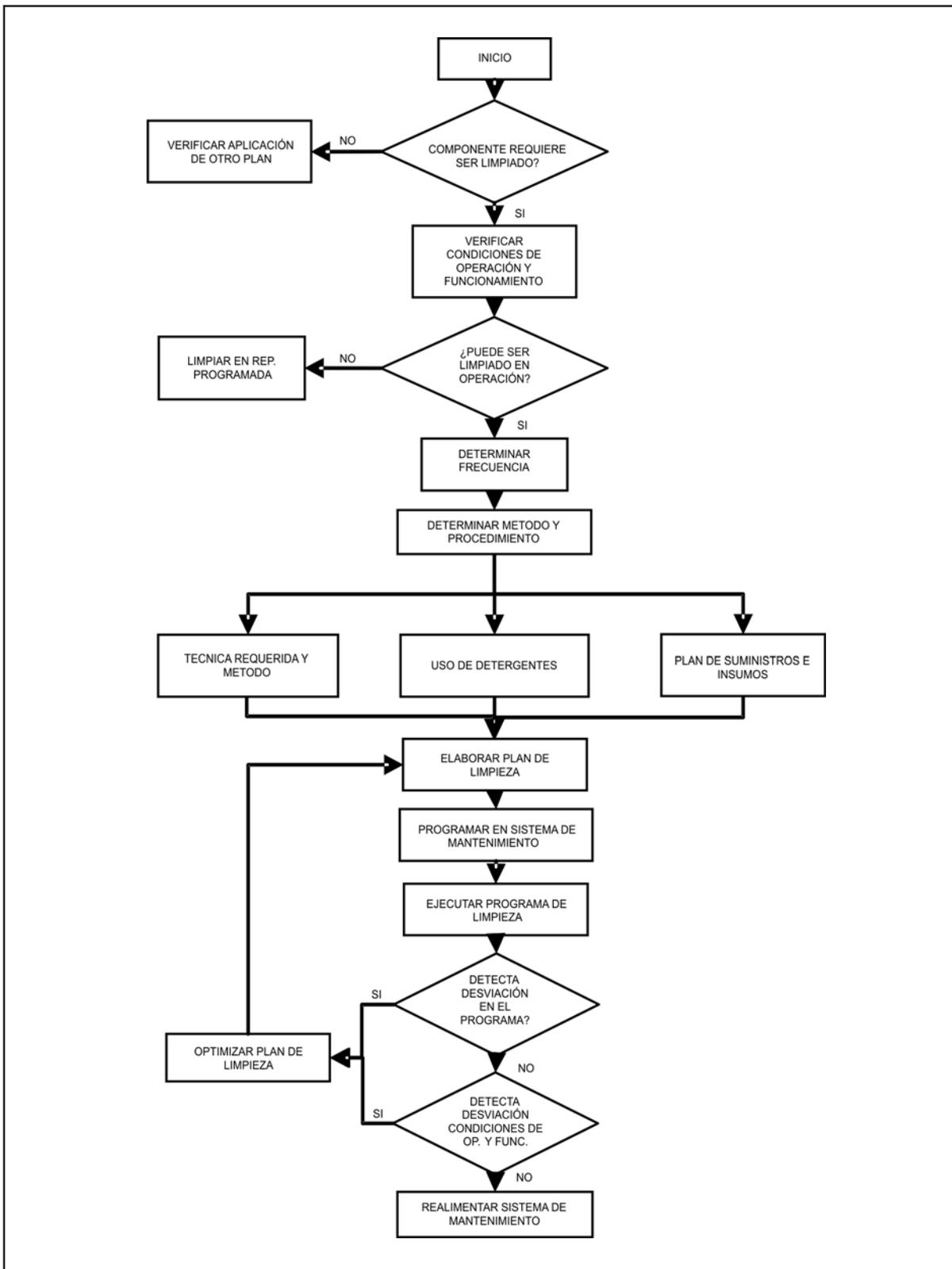


**Figura 4.** Plan de lubricación. Fuente: elaboración propia.

### Plan de calibración y ajuste

Se necesita evitar fallas o interrupciones del proceso por desajustes o falta de la correcta torsión en los tornillos y pernos de los equipos rotativos y alternativos. Para los equipos hidráulicos y/o neumáticos los mismos tienden a descalibrarse por su propia condición operativa.

El descalibrado y los desajustes tienen efectos parecidos, si se observan ambos con una tendencia creciente en su influencia en la generación de fallas, es un indicio de componentes con alto desgaste o que ya han cumplido su vida útil y deben ser cambiados, ya que pierden su función específica y operatividad frente al descalibrado o desajuste, lo cual induce modos de fallas.



**Figura 5.** Plan de limpieza. Fuente: elaboración propia.

El plan contempla detectar y registrar los eventos de falla y el tiempo de ocurrencia de las mismas sin necesidad de la interrupción del proceso y con los datos establecer la tendencia de la curva de deterioro. Todas las prácticas de calibración y ajuste deben ser adecuadas a cada equipo,

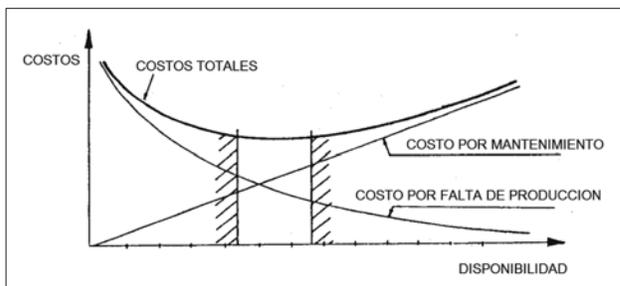
usando herramientas que garanticen el trabajo. Para el caso de especificaciones especiales o de alta resistencia para tornillos o pernos, se debe calcular el torque o momento de torsión necesario. A los equipos eléctricos en el Sistema de Aspiración de Humos del Horno se les aplica un plan de

mantenimiento general, en el cual se incluyen ajustes, limpieza, calibraciones y sustituciones; los equipos eléctricos no representan en la actualidad una fuente importante de eventos de fallas, su función y confiabilidad operacional es adecuada bajo un esquema de mantenimiento de rutinas.

### Plan de sustitución de subconjuntos o partes

Para aumentar la disponibilidad de los equipos en términos de evitar paradas y reparaciones no programadas, se recurre a la sustitución preventiva, es decir, cambiar el componente por otro nuevo luego que el primero ha cumplido un determinado tiempo en operación según un criterio de mantenimiento preventivo basado en tiempo o condición, se desea con ello mantener la disponibilidad de operación del equipo al máximo, para que pueda cumplir su función sin afectar el desempeño. El componente sustituido en algunos casos aún pueda seguir prestando servicio de manera aceptable, aunque no se desea asumir el riesgo de una falla en la función del conjunto del cual forma parte.

En la figura 6 se muestra en forma gráfica el enfoque del costo óptimo para realizar un recambio. En la forma adecuada, para hacer el recambio deben cumplirse dos cosas: la tasa de fallas debe ser decreciente y el costo total de la intervención de emergencia (costo de la falta de producción, la pieza de recambio y los recursos necesarios), debe ser superior al costo de la intervención preventiva.



**Figura 6.** Curva de costo óptimo para recambio.  
Fuente: elaboración propia.

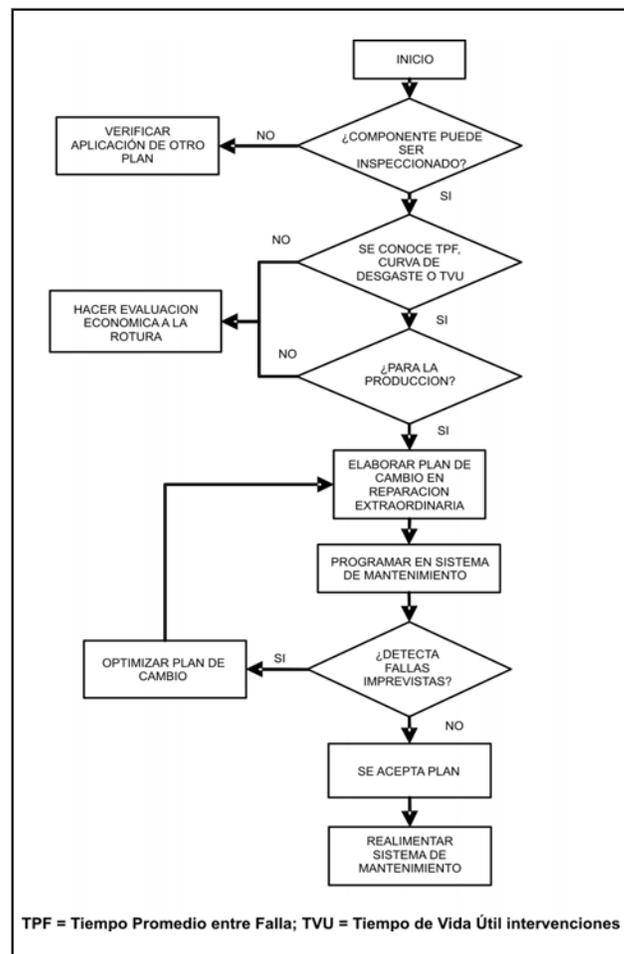
La aplicación del criterio de sustitución de subconjuntos o partes puede ser antieconómico si se emplea indebidamente, su justificación se apoya en aspectos de seguridad y protección donde la severidad de una falla puede ser muy alta. Por ejemplo, el componente es inaccesible para su rápido reemplazo, y la pérdida de función del equipo arriesga la producción, las personas o el medio, y su consecuencia es afectar negativamente la seguridad de la operación. Para estos casos el impacto de la falla, además, afecta la continuidad operativa de la línea, es por tanto recomendable para mantener la confiabilidad del conjunto, y no introducir riesgos, establecer un plan de sustitución preventiva.

Aunque existen dos teorías principales para la determinación del tiempo óptimo de recambio, la de sustitución a edad

constante y sustitución a fecha constante; además de modelos matemáticos complejos para analizar «n» componentes, la realidad de la línea, es que empíricamente, siempre se han realizado sustituciones preventivas en equipos críticos en las reparaciones extraordinarias por lo cual se tiene muy poca información de las tasas de desgaste o de las funciones densidad de probabilidad o probabilidad acumulada de fallas que son necesarias para la modelación matemática del tiempo óptimo de sustitución.

Para los casos donde no se cuenta con la información histórica de las fallas, se consideró la criticidad de los componentes según los criterios establecidos por la empresa, la accesibilidad al conjunto de equipos y el impacto por falta de producción, y a partir de este conjunto de datos hacer la estimación de la necesidad de recambio.

En la figura 7 se muestra el procedimiento para la ponderación de elementos cuyos subconjuntos deban ser considerados en el plan de sustitución. Donde el tiempo promedio entre fallas es conocido, se toma ese valor como el tiempo de vida después del cual se debe hacer el cambio del componente o subconjunto.



**Figura 7.** Plan de sustitución de componentes.  
Fuente: elaboración propia.

## Plan de Inspección

La inspección es la tarea fundamental de los grupos técnicos y la base de la estructura de mantenimiento ya sea este basado en tiempo o basado en la condición. El principal propósito de las inspecciones, es obtener información útil acerca del estado de una instalación o sistema técnico complejo. Los inspectores recopilan información acerca de variables como las siguientes: desgaste, ruido, vibraciones, fugas de fluido, integridad de protecciones, etc. Las inspecciones pueden conducir a lo siguiente:

- Reparaciones menos extensas de fallas potenciales, si se detectan antes de que las mismas causen un daño complementario.
- Planificación y acciones correctivas apropiadas de manera de que puedan realizarse en momentos en que ocasionen la menor alteración a las operaciones del sistema.

El inspector de mantenimiento cuenta con las siguientes herramientas para elaborar el procedimiento de inspección:

- Especificaciones técnicas del equipo, suministradas por el fabricante.
- Planos, diagrama de tubería e instrumentos, esquemas eléctricos, etc.
- Manuales de operación y mantenimiento, suministrados por el fabricante.
- Criterios de ingeniería y estándares de planta o internacionales.
- Experiencia propia con equipos de similares características.

Según la complejidad del equipo y su criticidad se establece en el procedimiento el tipo de inspección a realizar: cinco sentidos, prueba de función, inspección especial (de requerirse alguna herramienta o condición específica de equipo) o uso de herramientas de predictivo.

Para establecer la frecuencia de las inspecciones, se establece el horizonte de planificación, se hace el inventario de los equipos que serán inspeccionados y se balancea la disponibilidad del recurso humano versus el número de inspecciones, si existe incongruencia se debe recurrir al estudio de criticidad para jerarquizar las actividades.

La frecuencia y duración de las inspecciones se fijan con base al procedimiento elaborado, y como premisa general se establece que un inspector técnico debe dedicar hasta un máximo de 70% de su tiempo disponible, a la labor de inspección, el resto del tiempo lo emplea en la planificación de actividades tales como: ordenes de trabajo, repuestos, supervisión de trabajos, etc. La figura 8 representa el proceso de inspección.

## Tareas de mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo basado en la condición, usa herramientas y técnicas capaces de detectar el deterioro a través de un cambio de parámetros en el monitoreo de la condición de una o varias variables que se están monitoreando.

Para el tipo de equipos instalados en el Sistema de Aspiración de Humos del Horno se requiere de las siguientes técnicas de inspección:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de aceite
- Medición de espesor de recipientes a presión
- Termografía a tableros eléctricos

Se establecieron los siguientes criterios para incorporarlos al sistema de mantenimiento predictivo:

- Hacer análisis de vibraciones a equipos de servicio continuo.
- Hacer análisis de vibraciones a equipos a los cuales se les ha establecido criticidad ALTA o MEDIA. Aplicar análisis y mediciones a equipos cuyo costo de sustitución sea mayor a 5000 US\$.
- Medición de espesores según los estándares.
- Análisis de aceite para equipos con criticidad ALTA y operación continua.
- Termografía a tableros eléctricos según un plan regular de inspección.
- Los equipos «bajo predictivo» no requieren de que se programe ninguna tarea alterna de mantenimiento, salvo inspección simple. Sólo serán intervenidos por recomendación del personal.

Para la implementación del mantenimiento predictivo se requiere entonces:

- Seleccionar equipos para ser incorporados al plan y programa de mantenimiento predictivo, discutir listado con analista de mantenimiento predictivo.
- Emitir listado de especificaciones técnicas de los equipos seleccionados.
- Definir las técnicas que serán usadas en función del proceso de deterioro esperado del equipo y de las herramientas de diagnóstico disponibles.
- Definir frecuencia de monitoreo.
- El mantenimiento predictivo diseña el procedimiento de inspección: selecciona puntos a monitorear, configura los sistemas de diagnóstico, ejecuta inspección.
- El mantenimiento predictivo emite reporte de condición y solicita, en los casos que corresponda, la reparación o normalización vía sistema de mantenimiento.

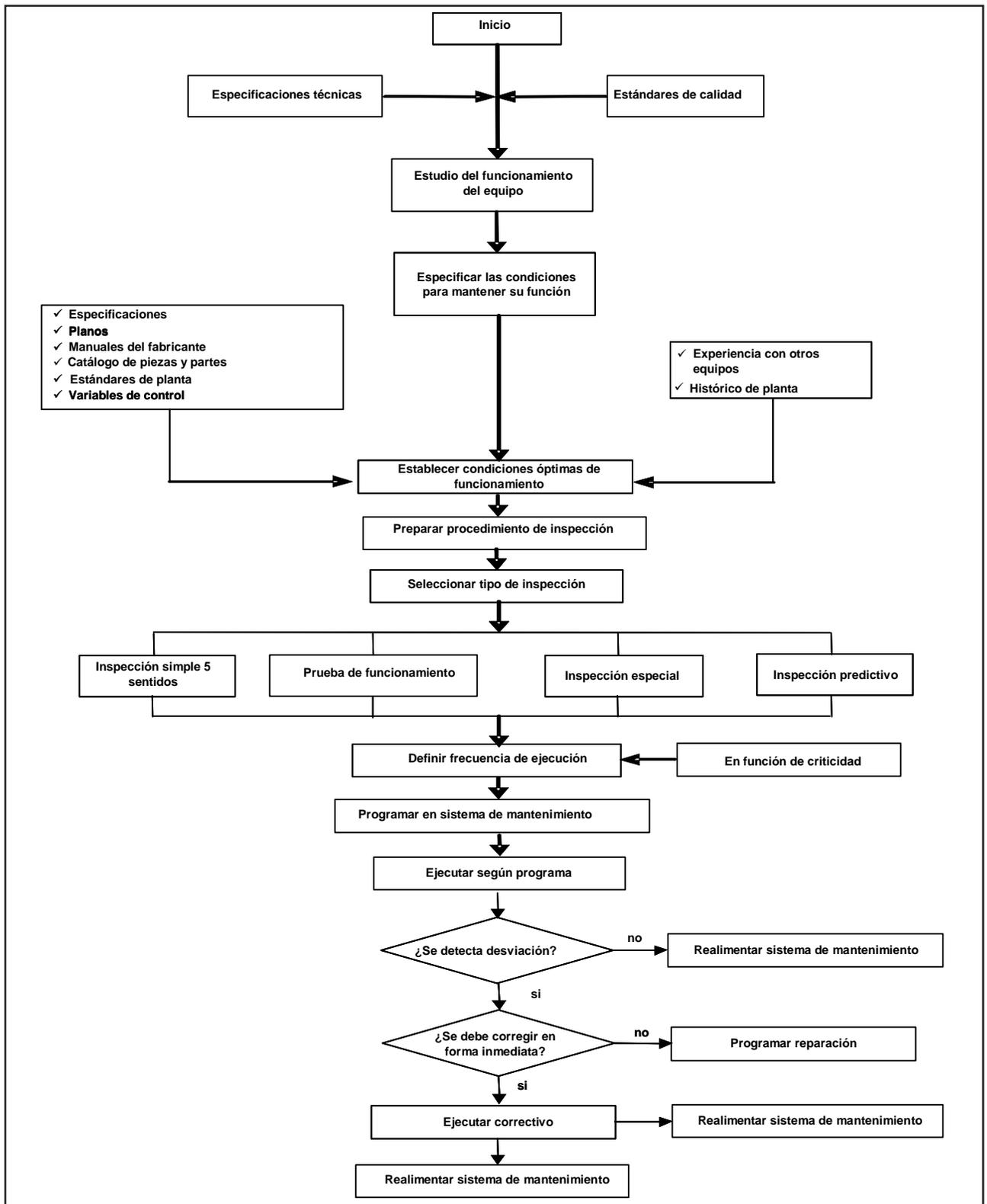


Figura 8. Procedimiento elaborado como parte del modelo para el plan de inspección.

- El grupo técnico responsable ejecuta normalización y notifica.
- El mantenimiento predictivo verifica que la reparación cumple con las especificaciones.

### Gestión de Materiales y Repuestos

La gestión de materiales y repuestos considera toda actividad ligada a la planificación, procura y disposición

final de los componentes, hasta su uso en las reparaciones correspondientes. El proceso comienza por:

- Revisar recomendaciones del fabricante respecto a repuestos en operación normal.
- Estudio del funcionamiento del equipo (planos, esquemas, manuales, etc.) para realizar desglose técnico de sus componentes.
- Emitir lista de materiales requeridos para el equipo en cuestión.
- Definir los datos requeridos para la gestión de repuestos establecidos por la Gerencia General de Mantenimiento y la Gerencia de Abastecimiento de Sidor.
- Realizar el proceso de codificación que permita incorporar los datos técnicos en el sistema de control de materiales.
- Cargar la lista de materiales en el sistema de mantenimiento.
- Emitir los requerimientos de materiales y repuestos en función de los datos de gestión.
- Controlar el stock de materiales a pie de máquina y en almacén.

Se establecen las siguientes pautas:

- Definir el listado de los conjuntos requeridos para la planta, por ejemplo: reductores, ventiladores, motores eléctricos.
- Elaborar archivo de documentación técnica de los conjuntos seleccionados que incluya: planos, lista de materiales codificados y procedimiento de reparación.
- Definir la cantidad óptima de conjuntos requerida para la operación confiable, en función de la característica de funcionamiento, criticidad del componente, histórico de fallas y/o experiencia propia.
- Definir un lugar idóneo para almacenamiento del conjunto.
- Entregar al taller un archivo contentivo de la información técnica requerida para la reparación.
- Generar las solicitudes de reparación correspondientes y notificar al taller responsable.

### Análisis de costos

El desempeño en la gestión de mantenimiento tiene como variable de control fundamental el costo generado por las diferentes actividades propias de la gestión. El iniciar un plan de mantenimiento exige evaluar los posibles costos a generar por las actividades de mantenimiento.

El análisis de los costos de mantenimiento preventivo, requiere un trabajo de equipo (producción, administración y mantenimiento) para así obtener una visión detallada de los costos y con ello cuantificar y comparar cuáles serían los posibles costos y consecuencias de hacer o no hacer el mantenimiento preventivo para cada caso. Esta comparación permite tomar decisiones en función del impacto global sobre

el total de la operación que produce el costo de mantenimiento más el costo por dejar de producir al estar detenido el proceso de producción como consecuencia de una falla en los equipos. En el caso de los sistemas de aspiración de humos el tiempo fuera de servicio por fallas impacta directamente la operación del horno, y se puede hacer un análisis de costo basado en la pérdida por dejar de producir acero al parar el equipo por una falla generada al no tener un plan de mantenimiento preventivo, que pudo evitar la ocurrencia de la falla o disminuir su impacto. Tomando como base referencial un precio de venta de \$250/tn de acero, una tasa de producción de 2,35 tn/min se puede hacer un ejercicio sobre el impacto al no poder evitar la falla por no tener un plan de mantenimiento preventivo. Si se analiza el caso de la caída o desprendimiento, de un ducto del sistema común no refrigerado de la casa de humos, el cual genera una parada imprevista, se puede hacer una comparación del costo al dejar de producir en el horno como consecuencia de la no aplicación de una rutina de mantenimiento preventivo orientada a realizar la inspección y los ajustes en el ducto, que garanticen su condición operativa y eviten su desprendimiento o caída, versus con el costo de haber tenido un mantenimiento preventivo:

$$\text{Costo por no tener M.P} = \text{TF} * \text{PV} * \text{P} \quad (2)$$

donde:

TF: tiempo fuera por parada imprevista (minutos)  
PV: precio de venta del acero: (\$/tn)  
P: productividad del horno (tn/min)

La parada del ejemplo tuvo una duración de 4320 minutos y al sustituir los valores dados se obtiene un costo de:

\$2.538.000

$$\text{Costo por tener M.P} = \text{HIA} * \text{CHPI} * \text{TVU} \quad (3)$$

donde:

HIA: horas de inspección al año en el equipo  
CHPI: costo por hora del inspector  
TVU: tiempo de vida útil de la pieza esperada (años)

Para este ejemplo se estiman dos horas de inspección por semestre, al sustituir los valores se obtiene un costo de:

\$480.

Este ejercicio simplificado permite ver claramente que el análisis detallado sobre el impacto económico de los componentes del sistema, a la hora de seleccionar el tipo de

mantenimiento a ser aplicado, es de mucha importancia y determinante como criterio de evaluación y aplicación del modelo de mantenimiento. Queda demostrado de esta forma que es necesario la aplicación de las herramientas y los procedimientos desarrollados en el presente proyecto a fin de mejorar la gestión.

## CONCLUSIONES

Al entender y analizar la situación actual en la gestión de mantenimiento junto al establecimiento de la variable de control, permiten desarrollar un modelo de gestión, que garantice el funcionamiento del sistema de aspiración acorde con los estándares de operación y medio ambiente exigidos por la empresa, así como las leyes y reglamentos en vigencia.

El modelo desarrollado está basado en el mantenimiento preventivo como herramienta fundamental para la gestión. La incorporación en el modelo de gestión de un plan de recambio de piezas y/o partes basado en la vida útil; en las de alto costo, las de alto tiempo de ejecución y las de alto tiempo de procura, da paso al planeamiento de un horizonte de mediano plazo que permite la programación y ejecución oportuna que impacta directamente en los costos y en la disponibilidad del sistema de aspiración.

El modelo plantea la importancia del conocimiento técnico de los sistemas que se van a gestionar, el dominio tecnológico y el conocimiento de las características de operación, para poder establecer una gestión eficiente de los sistemas.

Las conclusiones descritas justifican la aplicación del modelo desarrollado para emplearlo con un enfoque sistemático y sistémico en el control del funcionamiento del sistema de depuración en Sidor.

## REFERENCIAS

GAÑO D. L. (1999). *Apollo Root Cause Analysis*. Apollonian Publications. First Edition. Yakima, Washington.

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (1995). Decreto 638 publicado en la *Gaceta Oficial 4899*.

SIDERÚRGICA DEL ORINOCO, SIDOR. (1998)-1. *Política de Medio Ambiente*, Sidor.

BHA GROUP. (1998). *Filter Skills SM Dust Collector Fundamentals*.

SIDERÚRGICA DEL ORINOCO, SIDOR. 1998-2. *Planta de Tratamiento de Humos*, Sidor.

INSTITUTO LATINO AMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO, ILAFA. (1975). *Contaminación en Siderurgia*.

INSTITUTO LATINO AMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO, ILAFA. (1988). *Tecnología de control Ambiental en la Industria Siderúrgica*.

INSTITUTO LATINO AMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO, ILAFA. (1985). *Mantenimiento en Siderurgia en Épocas de Crisis*.

MOUBRAY, J. (2001). *Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press Inc., Second Edition, New York.

SIDERÚRGICA DEL ORINOCO, SIDOR. (2003). *El Modelo Organizativo de Mantenimiento en Sidor*. Gerencia General de Mantenimiento y Servicios Primera Edición, Sidor.

THE IRON AND STEEL INSTITUTE, ISI. (1969). *Organization of Maintenance*.

LEVITT, J. (2003). *Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance*. Industrial Press Inc., First Edition, New York.

NARAYAN, V. (2004). *Effective Maintenance Management*. Industrial Press Inc., First Edition, New York.

SALIH O. D., A. RAOUF, J. D. CAMPBELL. (2000). *Sistemas de Mantenimiento, Planeación y Control*. Limusa Wiley. Mexico.

SKF. (1999). Catálogo General, Impreso en Italia.