

**MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA
DE CEMENTOS ANDINO, BASADO EN LA FILOSOFÍA RCM 2**

WILSON ROBLES SILVA

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

**MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA
DE CEMENTOS ANDINO, BASADO EN LA FILOSOFÍA RCM 2**

WILSON ROBLES SILVA

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Oscar Javier Bernal Barajas
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2006**

Nota de aceptación

**Presidente del Jurado
Carlos Ramón González Bohórquez**

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Febrero de 2006

A mi esposa Luz Stella y a mis dos hijos José Wilson y Luís Fernando, quienes son los alicientes para seguir mejorando en mi vida profesional y poder darles lo mejor de mi.

A mi padre José Wilson y a mi madre Ana Lucia, que son la base para que haya logrado llegar hasta este momento.

Wilson Robles Silva

AGRADECIMIENTOS

A nuestra querida empresa Cementos Andino, por darme todo el apoyo necesario para lograr este posgrado, el cual pongo a disposición para seguir mejorando día a día y que siga siendo el motor de desarrollo para nuestra querida ciudad de San Gil.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
1. LA EMPRESA Y SU ENTORNO	3
1.1 LOCALIZACIÓN	3
1.2 RESEÑA HISTÓRICA	5
1.3 POLÍTICAS CORPORATIVAS	5
1.3.1 Política de calidad	5
1.3.2 Misión	6
1.3.3 Visión	6
1.4 LA EMPRESA Y SUS PROCESOS	7
1.5 EL PROCESO DE MANTENIMIENTO	8
1.5.1 Misión de mantenimiento	8
1.5.2 Descripción del proceso de mantenimiento	8
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZAIONAL	10
1.7 LAS FASES DE PRODUCCIÓN	11
1.8 SITUACIÓN ACTUAL	13
1.8.1 Antecedentes	13
1.8.2 Análisis de la situación actual	13
1.8.3 Distribución de la mano de obra por tipo de mantenimiento	15
1.8.4 Análisis DOFA para la planta de cementos andino San Gil	17
2. MANTENIMIENTO BASADO EN RCM 2	19
2.1 LA EVOLUCIÓN DE RCM 2	20
2.2 ALCANCE DE RCM 2 EN LA PLANTA DE CEMENTOS ANDINO SAN GIL	21
2.3 PRINCIPIOS DE RCM 2	22
2.4 NECESIDADES DE RCM	22
2.5 ¿CÓMO SE HACE UN ESTUDIO RCM 2	23
2.6 ESQUEMA PROPUESTO PARA REALIZAR UN ESTUDIO RCM 2	25
2.7 PRINCIPALES TÉMINOS Y DEFINICIONES	26
2.8 ANÁLISIS DOFA DEL PROCESO RCM 2 EN LAS EMPRESAS	27
2.8.1 Debilidades	27
2.8.2 Oportunidades	27
2.8.3 Fortalezas	28
2.8.4 Amenazas	28
2.9 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS	28
2.10 EFECTOS DE LAS FALLAS	31

2.11	HOJAS DE INFORMACIÓN	32
2.12	EL PROCESO DE DECISIÓN RCM	32
3.	ELEMENTOS PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	34
3.1	DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	34
3.2	IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	34
3.3	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN	34
3.4	EL PLAN DE MANTENIMIENTO	34
3.4.1	Planear	35
3.4.2	Hacer	35
3.4.3	Verificar	35
3.4.3	Actuar	35
3.5	EL TABLERO DE GESTIÓN	36
3.6	INDICADORES DE GESTIÓN	38
3.6.1	Indicadores de costo de mantenimiento	38
3.6.2	Indicadores de mano de obra	39
3.6.3	Indicadores de clase mundial	42
3.7	COSTOS DE MANTENIMIENTO	44
3.7.1	Los costos y su división	44
3.7.2	Costo total de mantenimiento	47
3.7.3	Costo óptimo de equilibrio	47
3.8	GESTIÓN DE ALMACÉN	48
3.8.1	Stock	49
3.8.2	Cálculo del costo total esperado (CET)	53
3.8.3	Cálculo del lote económico	54
3.8.4	Determinación de las zonas de igual periodo de reposición	56
3.8.5	Determinación del stock de protección o de seguridad	58
4.	MODELO DE GESTIÓN PROPUESTO	61
4.1	MAPA DE PROCESOS OPERATIVOS	62
4.2	ESTUDIO RCM 2 PARA EL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO	64
4.3	APLICACIÓN DEL ESTUDIO RCM 2 AL PROCESO DE MOLIENDA DE CEMENTO	69
4.3.1	Contexto operacional	69
4.3.2	Diagrama funcional de bloques del proceso de molienda de cemento	78
5.	APLICACIÓN DEL AMFE AL SISTEMA PARA LA MOLIENDA CEMENTO	80
5.1	MOLINO HORIZONTAL DE BOLAS	81
5.2	SEPARADOR DE ALTA EFICIENCIA	85
5.3	ELEVADOR DE CANGILONES	89
5.4	AERODESLIZADORES	91

5.5	FILTRO DE MANGAS PULSE JET	92
5.6	BANDAS DOSIFICADORAS	95
5.7	SILOS ALIMENTADORES	97
5.8	ESCLUSAS ROTATIVAS	98
5.9	MOTORREDUCTORES	99
5.10	VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN	101
6.	CONCLUSIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de la planta de cemento seccional San Gil.	4
Figura 2. Mapa de procesos.	7
Figura 3. Descripción del proceso de mantenimiento.	9
Figura 4. Organigrama de la empresa.	10
Figura 5. Organigrama del proceso de mantenimiento.	10
Figura 6. Fases del proceso de producción de cemento.	11
Figura 7. Expectativas crecientes del mantenimiento.	19
Figura 8. Pasos para conducir a un estudio RCM.	23
Figura 9. Diagrama funcional de bloques.	24
Figura 10. Esquema de un grupo de análisis RCM.	25
Figura 11. Ejemplos de modos de falla en una bomba centrífuga.	29
Figura 12. Categorías de modos de falla.	30
Figura 13. Ejemplo de hoja de información.	32
Figura 14. Diagrama de decisión RCM.	33
Figura 15. Esquema del ciclo PHVA.	34
Figura 16. Representación gráfica para calcular tiempo medio entre fallas.	42
Figura 17. Gráfica del costo óptimo de mantenimiento.	48
Figura 18. Costos de adquisición de compras.	51
Figura 19. Existencia promedio $\frac{1}{2} q$.	53

Figura 20.	Gráfica del lote económico.	55
Figura 21.	Gráfica del periodo de aprovisionamiento.	57
Figura 22.	Diagrama real de Stock.	58
Figura 23.	Esquema ABC.	59
Figura 24.	Modelo de gestión propuesto.	61
Figura 25.	Mapa de procesos con el nuevo modelo.	62
Figura 26.	Organigrama para la gestión con RCM 2.	63
Figura 27.	Gráfica de disponibilidad proceso horno 1.	64
Figura 28.	Gráfica tiempo medio entre fallas proceso horno 1.	65
Figura 29.	Gráfica de disponibilidad proceso horno 2.	65
Figura 30.	Gráfica tiempo medio entre fallas horno 2.	66
Figura 31.	Gráfica de disponibilidad proceso molienda cemento.	66
Figura 32.	Gráfica tiempo medio entre fallas proceso molienda cemento.	67
Figura 33.	Gráfica de disponibilidad proceso molienda crudo	67
Figura 34.	Gráfica tiempo medio entre fallas proceso molienda de crudo.	68
Figura 35.	Comparativo de disponibilidad año 2005.	68
Figura 36.	Comparativo tiempo medio entre fallas año 2005.	69
Figura 37.	Esquema del sistema dosificador de materiales.	70
Figura 38.	Esquema del sistema molino y separador.	72
Figura 39.	Esquema del sistema de elevador a silo de cemento.	76
Figura 40.	Diagrama de flujo del proceso de molienda de cemento.	77

Figura 41.	Diagrama funcional de bloques planta cementos Andino San Gil.	79
Figura 42.	Esquema del molino de cemento .	81
Figura 43.	Esquema del separador dinámico.	85
Figura 44.	Esquema del elevador de cangilones.	89
Figura 45.	Esquema de aerodeslizador.	91
Figura 46.	Esquema de filtro de mangas pulse jet.	92
Figura 47.	Esquema de bandas dosificadoras.	95
Figura 48.	Esquema de silo alimentador.	97
Figura 49.	Esquema de esclusa rotativa.	98
Figura 50.	Esquema de motorreductor.	99
Figura 51.	Esquema para ventilador de recirculación.	101

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de mano de obra según tipo de mantenimiento.	16
Tabla 2. Distribución horas hombre por grupo de planificación.	16
Tabla 3. Número de órdenes de trabajo generadas y ejecutadas según grupo de planificación.	17
Tabla 4. Discriminación de costos de mantenimiento.	48
Tabla 5. Datos para cálculo de costos de adquisición o compra.	51
Tabla 6. AMEF para molino de cemento.	81
Tabla 7. AMEF para separador dinámico.	85
Tabla 8. AMEF para elevador de cangilones.	89
Tabla 9. AMEF para aerodeslizadores.	91
Tabla 10. AMEF para filtro de mangas pulse jet.	93
Tabla 11. AMEF para bandas dosificadoras.	95
Tabla 12. AMEF para silo alimentador.	97
Tabla 13. AMEF para esclusa rotativa.	98
Tabla 14. AMEF para motorreductor.	100

RESUMEN

TÍTULO: MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE CEMENTOS ANDINO, BASADO EN LA FILOSOFIA RCM 2*

AUTOR: WILSON ROBLES SILVA**

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, mantenimiento, Fallas

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: Este Estudio está orientado a definir un modelo de gestión que se adapte a las políticas corporativas de la empresa Cemento Andino S.A., ubicada en la ciudad de San Gil y así encontrar un camino a seguir, que sea compatible con el actual sistema de gestión de calidad y el sistema de gestión ambiental dentro de la normatización ISO 9000 y 14000.

El Análisis de Modo de falla y sus Efectos (AMFE) se realizó teniendo en cuenta la experiencia del personal de los procesos operativos especialmente la de el personal de producción, quienes son los que mejor conocen las máquina, y con el conocimiento del personal de mantenimiento, quienes día a día conviven con los equipos y saben cuales son los principales modos de falla de los mismos. Se realizó un estudio del comportamiento de cada área productiva en particular, con el fin de detectar cual de ellas presenta el rendimiento más bajo, en lo que concierne a disponibilidad y tiempo medio entre fallas y se detectó que la fase de molienda de cemento es la que en la actualidad tiende a comportarse de una manera menos favorable con 5,96 días de tiempo medio entre fallas y 95 % en disponibilidad, valores que son inferiores a las demás áreas y que se encontrarán en las gráficas del capítulo cinco.

El enfoque que se le dio al modelo propuesto, es el de aprovechar las ventajas que ofrece el ciclo PHVA y combinarlo con la filosofía RCM 2 haciendo de este un modelo que facilite el trabajo y ayude a conseguir las metas de producción, con estrategias enfocadas a la seguridad de las personas, cuidado con el ambiente y resultados de costo efectividad favorable para el sostenimiento de la empresa.

En el capítulo 4 se presenta una propuesta, de como debería ser el mapa del proceso operativo, en donde se ilustra, como debe ser la interacción entre los procesos operativos involucrados directamente en la producción y el modelo de gestión propuesto. Esto puede llevar a una mejor comprensión de lo que se busca en una organización, en cuanto a la satisfacción del cliente interno, que en últimas se verá reflejado en la satisfacción del cliente externo.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Oscar Javier Bernal Barajas, Ingeniero Electricista.

SUMMARY

TITLE: MODEL OF ADMINISTRATION OF MAINTENANCE FOR THE PLANT OF CEMENTOS ANDINO, BASED IN THE PHILOSOPHY RCM 2

AUTHORS: WILSON ROBLES SILVA

KEYWORDS: Reliability, maintenance, failures

SUBJECT OR DESCRIPTION: This Study is guided to define an administration model that adapts to the Cementos Andino corporate politicians, located in the city of San Gil and this way to find an in route to continue that is compatible with the current system of administration of quality and the system of environmental administration inside the normatización ISO 9000 and 14000.

The AMFE was carried out keeping especially in mind the experience of the personnel of the operative processes that of the production personnel who are those better know the machine, and with the maintenance personnel's who day by day they cohabit with the machines and know which are the main failures of the same ones. Was made out a study of the behaviour of each productive area in particular, with the purpose of to detect which presented the lowest yield of them, concerning availability and mean time to failures and it was detected that the phase of cement mill is the one that at the present time spreads to behave in a less favourable way with a 5,96 days of mean time to failures and 95% in availability, values that are inferior to the other areas and that they will be in the graphs of the chapter five.

The focus that was given to the proposed pattern, is the one of the advantages that offers the cycle PHVA to take advantage and to combine it with the philosophy RCM 2 making of this a model that facilitates the work and help to get the production goals, with strategies focused to the security of people, care with the environment and results of cost favourable effectiveness for the maintenance of the company.

In the chapter 4 a proposal is presented, of like it should be the map of the operative process where is illustrated, like it should be the interaction among the operative processes involved directly in the production and the proposed administration pattern. This can take us to a better compression of what is looked for in an organization as for the internal client's satisfaction that will be reflected in the external client's satisfaction in last.

*Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director: Oscar Javier Bernal Barajas, Electrician Engineer.

INTRODUCCIÓN

La planta de Cementos Andino seccional San Gil, fue la primera de un grupo de tres plantas, que entró en operaciones en el año de 1999, con el fin de producir y comercializar cemento Pórtland tipo 1, cimentada sobre lo que había quedado de la antigua planta de cementos Hércules, que había cerrado operaciones en el año de 1997. Por tratarse de una empresa pequeña con equipos en su mayoría obsoletos, la nueva empresa emprende un programa de modernización y recuperación de los activos físicos de la antigua compañía, e inicia operaciones con personal ciento por ciento colombiano en el nuevo proceso.

Una vez iniciadas las operaciones, se empezó a consolidar toda una estrategia para lograr la competitividad requerida, y lograr el posicionamiento y sostenimiento del producto en el mercado, dando inicio al desarrollo de todas las actividades encaminadas a la implementación y certificación del sistema de gestión de la calidad, como uno de los caminos, para lograr los objetivos propuestos. Por lo anterior se buscaron estrategias para cumplir con los requerimientos del sistema de gestión de calidad, y hablar de mejora continua, satisfacción de los clientes internos y externos, indicadores de gestión, seguridad y cuidado del medio ambiente etc. dando como resultado, una búsqueda de modelos de gestión en el proceso de mantenimiento, y se adopta la filosofía RCM 2, por tener todos los componentes necesarios para enfrentar el reto de lograr los resultados propuestos.

Cualquier intento de formular o revisar las políticas de mantenimiento debe comenzar con las funciones o las normas de funcionamiento de los activos de la compañía en su contexto operacional presente. Se puede decir que una de las formas más correctas de establecer las estrategias de mantenimiento, de tal forma, que influya considerablemente en la eficiencia global de producción, de la compañía Cementos Andino, es cambiar la mentalidad tradicional de cómo se hace el mantenimiento y lograr el objetivo básico de cualquier modelo de gestión, como es el de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, a bajos costos, partiendo de la ejecución, permitiendo que dichos activos funcionen eficiente y confiablemente en su contexto operacional.

Aplicando el modelo de gestión propuesto, podremos lograr las ventajas alcanzadas por gran número de industrias en los últimos 10 años, las cuales han aplicado la filosofía de RCM 2.

Con un modelo basado en confiabilidad y con base en la metodología RCM2 podemos lograr los siguientes beneficios:

- ✓ Mayor seguridad y protección del entorno
- ✓ Mejores rendimientos operativos
- ✓ Menores costos de mantenimiento
- ✓ Más larga vida útil de los equipos
- ✓ Una amplia base de datos de mantenimiento
- ✓ Mayor motivación del personal en particular
- ✓ Mejoramiento del trabajo en equipo

Actualmente los indicadores de mantenimiento se han visto afectados negativamente por la falta de estrategias adecuadas en la manera de realizar las actividades propias del proceso, lo cual genera incertidumbre y malestar en la relación con los clientes internos del proceso en la compañía. Por esta razón se piensa que un modelo de gestión basado en RCM 2 dará la solución para mejorar los aspectos que están causando la ineficiencia en el proceso. Es preciso desarrollar los procedimientos y programas necesarios para mejorar la interrelación entre mantenimiento y los demás procesos que dependen del mismo, para alcanzar las metas y objetivos corporativos.

Con la reactivación del sector de la construcción y las políticas aperturistas, es imprescindible tener niveles de competitividad adecuados para hacer frente a la competencia agresiva de los productores de cemento, por lo que la propuesta, de desarrollar un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM 2 se justifica, ya que aplicando esta filosofía, se hace una gestión más integral de mantenimiento haciéndola más competitiva, frente al modelo actual.

1. LA EMPRESA Y SU ENTORNO

La Compañía de Cementos Andino S.A. es una empresa del sector industrial dedicada a la producción y comercialización de cemento Pórtland tipo 1, destinado a satisfacer las necesidades de sus zonas de influencia, en cuanto a los requerimientos de cemento. La participación anual en el mercado nacional, corresponde a un 5 %, equivalentes a 318.000 toneladas de cemento ensacado con proyecciones de aumentarla en 15 % para el año 2005.

Las principales zonas de influencia, en donde se participa con el producto, son el Departamento de Santander, parte del Cesar y parte del departamento de Boyacá. El requerimiento de energía eléctrica es de 5000 KVA, cuyo abastecimiento se realiza a través de empresas privadas que la generan y la suministran a través de las redes de la Electrificadora de Santander. De igual forma la energía térmica necesaria en el proceso cementero, se obtiene a partir de carbón mineral, que es suministrado por proveedores privados que lo explotan y lo transportan desde Boyacá hasta la planta en San Gil.

1.1 LOCALIZACIÓN

La planta de Cementos Andino seccional San Gil, esta ubicada en el casco urbano del municipio, en el departamento de Santander, en el kilómetro cero vía a Barichara, a 90 kilómetros de Bucaramanga y a una altura de 1114 metros sobre el nivel del mar. En la figura 1 se puede ver la ubicación geográfica de la planta.

La piedra caliza, principal materia prima utilizada en la fabricación del cemento se extrae de la mina propiedad de la compañía, la cual esta ubicada en la vía que conduce al municipio de Curití, a 9 kilómetros del casco urbano de la ciudad de San Gil, en donde se encuentra la estación de trituración, para el procesamiento de la caliza utilizada en el proceso.

La planta Sangileña se encarga del proceso, realizando todas sus operaciones tanto de producción como de comercialización, con el apoyo logístico y financiero de la sede administrativa ubicada en la ciudad de Bogotá, donde se encuentran los directivos que tienen que ver con la parte comercial, finanzas, suministros y administrativa.

Figura 1. Localización de la planta de cementos San Gil



1.2 RESEÑA HISTÓRICA

San Gil, capital de la provincia Guanentina del Departamento de Santander y ciudad turística e industrial por excelencia, es la sede de la planta de Cementos Andino, fundada en el año de 1998, por un grupo de accionistas colombianos, que incursionan en el mercado cementero, comprando las instalaciones y activos de la antigua compañía de cementos Hércules, que venía operando desde hacía 50 años y que había sido cerrada en el año de 1997.

La empresa empieza operaciones en enero del año 1999, después de haber realizado una recuperación y modernización de los activos comprados a la compañía Hércules, utilizando mano de obra ciento por ciento colombiana, con experiencia en el sector cementero. Esta modernización empezó con el cambio total de la mentalidad de cómo se venían haciendo las cosas, enfocando su nueva operación en la eficiencia a todos los niveles, e invirtiendo en tecnología moderna, sobre todo en lo que tiene que ver con automatización de los procesos. La Compañía de Cementos Andino, inicia operaciones con un horno rotatorio y una estación de molienda de cemento, con una capacidad instalada de 4000 toneladas mes de cemento ensacado. Una vez estabilizada la producción en la planta de San Gil, se empezó un nuevo proyecto productivo en el año 2000 y se da inicio al montaje de una nueva planta ubicada en la ciudad de Zipaquirá. La nueva planta empezó operaciones en el año 2001, con una capacidad instalada de 15.000 toneladas mes de cemento Pórtland tipo 1 empacado. A finales del año 2001 se inicia un ensanche en la planta de cemento de San Gil, consistente en el montaje de una nueva línea de clinkerizado, con una capacidad de 180 toneladas día de clínker, la cual inicia operaciones a finales del año 2002. En el año 2004 se da inicio a un nuevo proyecto, para el montaje de una planta en la ciudad de Barranquilla con perspectivas de producción de 72.000 toneladas año de cemento tipo 1 ensacado, que igualmente como los otros dos proyectos, se realiza con capital y mano de obra ciento por ciento colombianos.

1.3 POLÍTICAS CORPORATIVAS

1.3.1 Política de calidad. En Cementos Andino la calidad es parte integral de nuestra oferta de valor y fundamental para consolidarnos en el mercado.

Tenemos como directrices lograr,

- La satisfacción de nuestros clientes
- El desarrollo de nuestra gente y nuestros proveedores

- El mejoramiento continuo de nuestros procesos
- El respeto por el medio ambiente

1.3.2 Misión. Satisfacer las necesidades de los clientes, produciendo y comercializando cementos de calidad, con un equipo humano comprometido y calificado, a través de un proceso de mejoramiento continuo, con responsabilidad social, generando desarrollo y rentabilidad, y en armonía con el medio ambiente.

1.3.3 Visión. Seremos una empresa de talla mundial admirados por:

- Nuestra innovación,
- Nuestra iniciativa,
- Nuestro trabajo en equipo,
- Nuestro respeto por la comunidad y el medio ambiente.

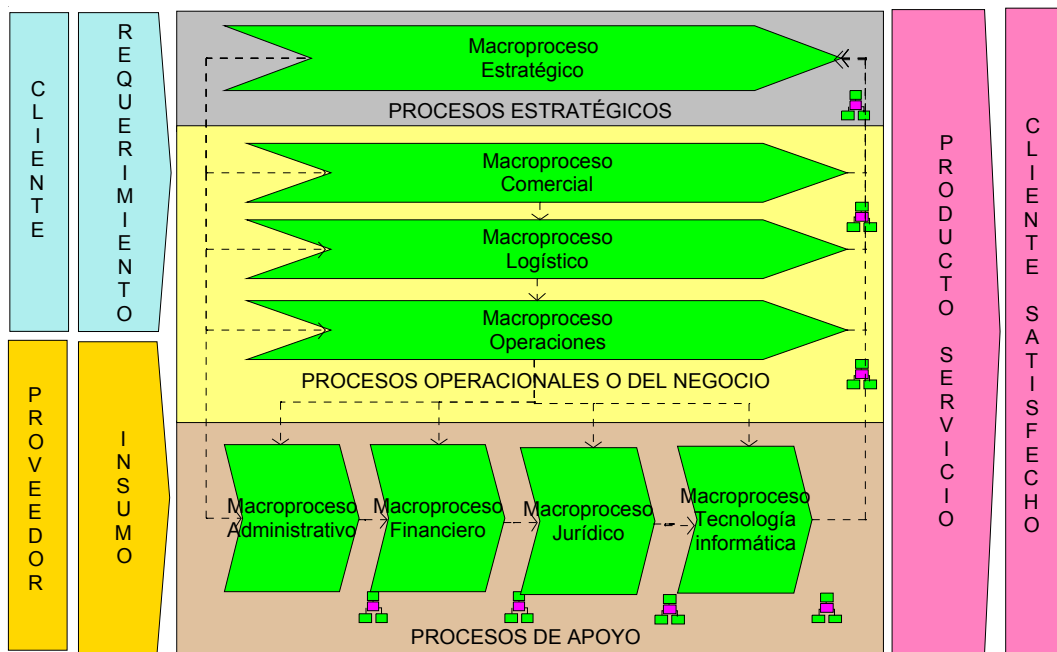
Se tiene como política corporativa que la calidad sea la base para la consolidación de la empresa en el mercado cementero, teniendo como directrices la satisfacción del cliente, el desarrollo de los trabajadores y proveedores, mejorar día a día los procesos y respetar el medio ambiente. Esto hizo que se pensara en la mejor manera de alcanzar estos estándares, por lo que se decidió, dentro de sus políticas primordiales, lograr la certificación de los procesos con la norma ISO 9001 e ISO 14000, asumiendo la tarea de implementar los sistemas de gestión de la calidad y el sistema de gestión ambiental. Esto da como resultado la integración de todos sus procesos, los cuales giran alrededor de los postulados de su política de calidad, su misión y visión. En la actualidad se cuenta con la certificación del sistema de gestión de la calidad en lo concerniente a la producción y comercialización de cemento Pórtland tipo 1 y está en proceso de certificación el sistema de gestión ambiental. En relación con el proceso de mantenimiento la política corporativa debe ser aplicada, buscando día a día el mejoramiento del mismo. Por tal razón se buscó una filosofía para la gestión de mantenimiento que fuera acorde con los requerimientos de los sistemas de gestión anteriormente mencionados, escogiéndose RCM 2, por ser un método que basa su éxito, en el enfoque dado a la prevención de las consecuencias ocasionadas por fallas, que afectan directamente al medio ambiente, a las personas y a las operaciones, invitando al mejoramiento de las prácticas de mantenimiento y a trabajar en equipo para lograr los resultados más positivos en el desempeño integral de los procesos involucrados en la producción.

1.4 LA EMPRESA Y SUS PROCESOS

La empresa de Cementos Andino funciona por procesos, que han sido definidos por el sistema de gestión de la calidad, de tal forma que interactúan entre sí, siguiendo lo establecido en la norma ISO 9001 para tal efecto. En la figura No 2 se ilustra esquemáticamente como se interrelacionan estos procesos, dando una visión más clara de cómo interactúan entre sí, para dar como resultado final un producto que cumpla con lo estipulado en la misión empresarial.

En el proceso general se ilustran unas entradas de referencia conformadas por clientes y proveedores que son afectadas por los procesos, dando como producto unas salidas o servicios, reflejados en un producto y la actitud de un cliente hacia ese producto. Se pueden ver tres grandes procesos como son, el proceso estratégico, el proceso operativo y el proceso de apoyo.

Figura 2. Mapa de Procesos



Proceso Estratégico de la compañía

En el mapa de procesos se describen tres grandes procesos, como son el proceso estratégico, los procesos operacionales o del negocio y los procesos de apoyo los cuales fueron establecidos en el programa de gestión de la calidad. En el proceso

operativo se encuentra el proceso de mantenimiento, que requiere de los servicios del proceso logístico en cuanto a suministro de repuestos e insumos. Con el proceso comercial la relación se hace en cuanto a la coordinación de paradas programadas de mantenimiento, para no entorpecer los despachos del producto. En el mismo proceso operativo se encuentra el proceso de producción, al cual se presta el servicio de mantenimiento, con el fin de maximizar la productividad y dar cumplimiento con las metas de producción propuestas. Recíprocamente, producción entrega informes a mantenimiento con el fin de tener una referencia cuantitativa reflejada en los indicadores de gestión de mantenimiento, que son utilizados para tomar decisiones conforme a estos resultados.

1.5 EL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Actualmente se hace mantenimiento, tratando de cumplir con el postulado propuesto en su misión, por lo que se ha implantado un software que facilita esta labor, con una estrategia basada en mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, que gira al rededor de un programa preestablecido. Actualmente se tiene un procedimiento general, llamado procedimiento para realizar el mantenimiento, que es la directriz enmarcada en el sistema de gestión de calidad, de cómo se debe proceder para realizar cualquier labor de mantenimiento incluyendo las emergencias.

El proceso de mantenimiento se realiza teniendo en cuenta los siguientes niveles para su desarrollo:

- Nivel de aviso o de solicitud de orden de trabajo
- Nivel de aprobación del aviso
- Nivel de planeación
- Nivel de programación
- Nivel de ejecución
- Nivel de supervisión y aprobación del trabajo realizado

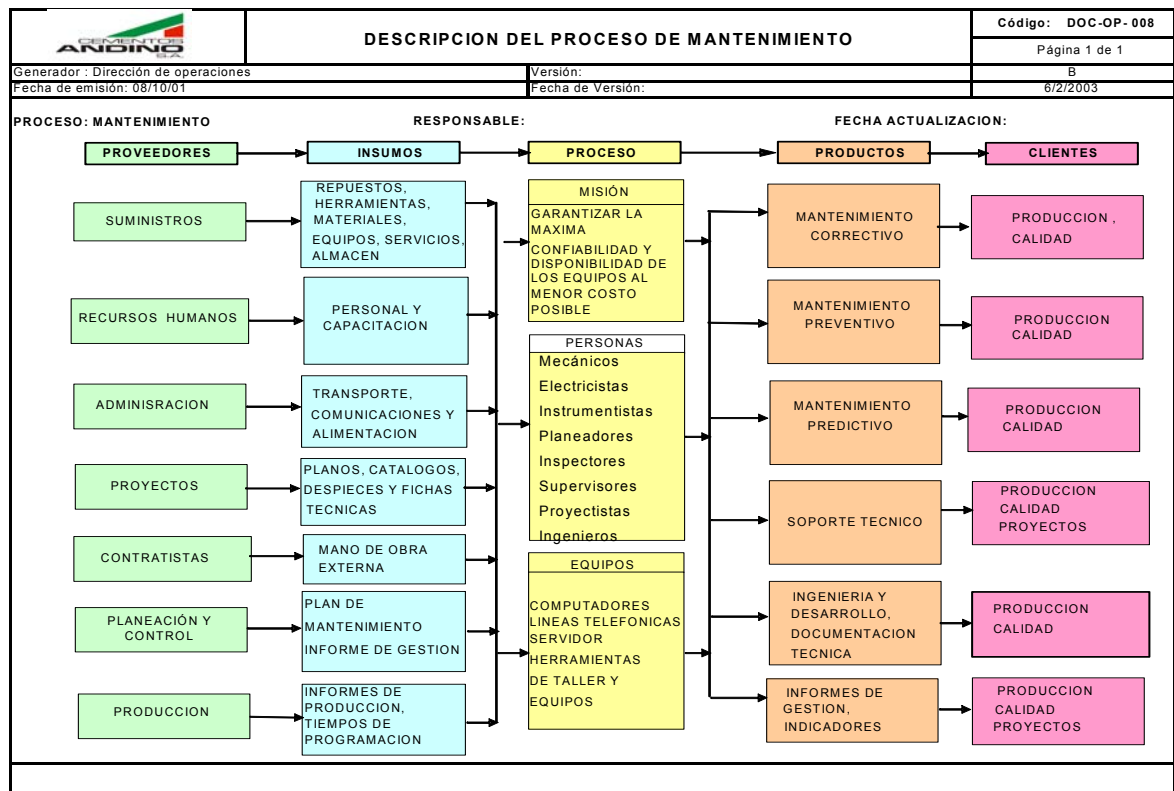
1.5.1 Misión de mantenimiento. Garantizar la máxima confiabilidad y disponibilidad de sus equipos de producción al menor costo posible.

1.5.2 Descripción del proceso de mantenimiento. Se describe el proceso de mantenimiento, como un conjunto de actividades enmarcadas en el sistema de

gestión de la calidad, en donde y a través de los proveedores internos se suministran insumos que son procesados para dar como resultado un producto, en forma de servicio que es recibido por los procesos que cumplen la función de cliente interno. Para desarrollar estas actividades se debe cumplir con los mismos requerimientos descritos en el sistema de gestión de la calidad, teniendo muy claro el significado y la importancia del cliente interno, el cual debe recibir el tratamiento que se proyecta cumplir en la política y la misión formuladas en el sistema de gestión de la calidad, como se muestra en la figura 3.

El proceso de mantenimiento constituye un servicio que se resume en ofrecer al cliente interno, en este caso el proceso de producción, las actividades concernientes a mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, a cada uno de los equipos que lo requieran, a través de un plan de mantenimiento previamente establecido. Para tal caso se cuenta con unos recursos tanto humanos como materiales, que obedecen a las políticas establecidas a nivel corporativo.

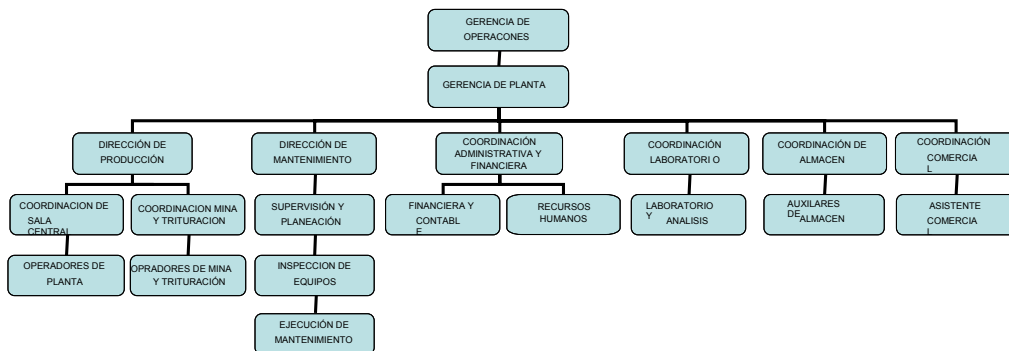
Figura 3. Descripción del proceso de mantenimiento



1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La compañía de cementos Andino S.A. está conformada por tres plantas productoras de cemento Pórtland tipo 1; tiene su centro de operaciones en la ciudad de Bogotá, en donde se ubican las oficinas administrativas. La planta de San Gil depende operativamente de su gerente operativo y funcionalmente del gerente de planta, tal y como se muestra en la figura 4.

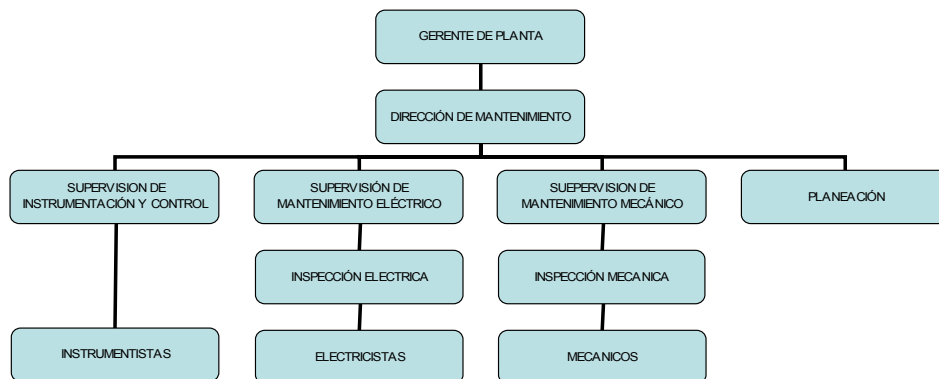
Figura 4. Organigrama de la empresa



Proceso administrativo

De igual forma el proceso de mantenimiento de la planta de San Gil depende de la gerencia de planta como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Organigrama del proceso de mantenimiento



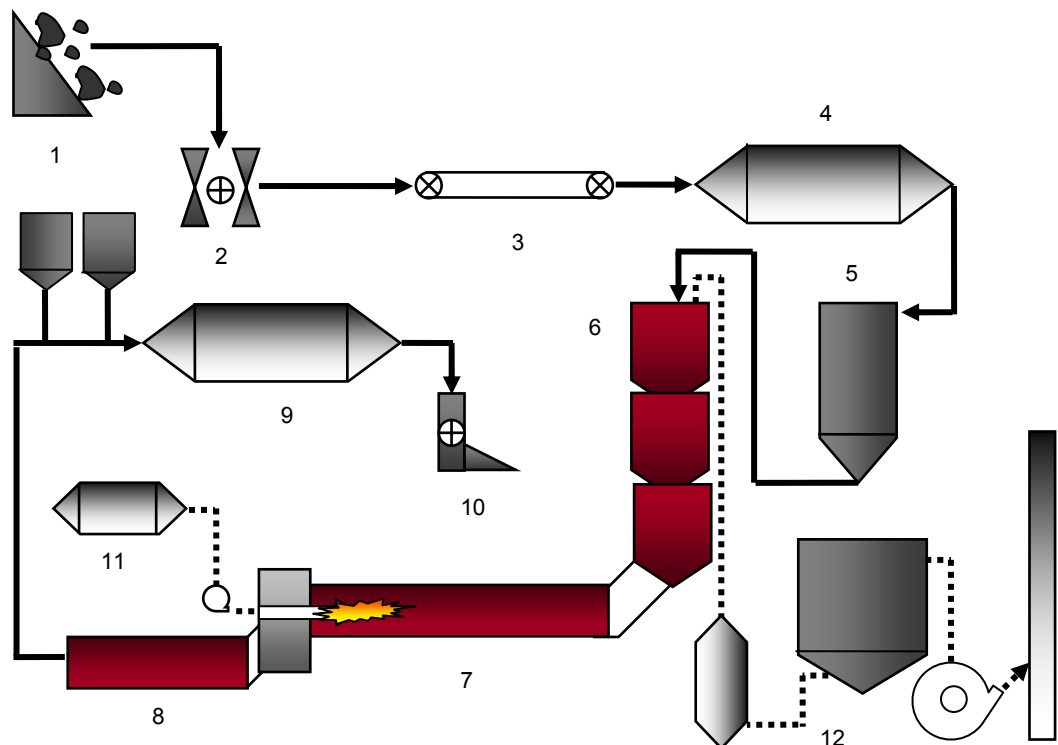
Proceso administrativa

1.7 LAS FASES DE PRODUCCIÓN

La planta de cementos Andino seccional San Gil, está distribuida por procesos productivos que a su vez se conocen como fases de producción.

El proceso de producción comienza con la fase explotación y trituración en la mina de caliza ubicada en el municipio de Curití de donde se extrae y se tritura la caliza que representa el mayor porcentaje en la composición física del cemento. Esta caliza es transportada en volquetas hasta la planta en donde se incorpora al proceso productivo en la fase de materias primas, junto con el mineral de hierro y la arcilla, que posteriormente son molidas y convertidas en harina que servirá para producir el clínker. En la figura 6 se puede ver una distribución esquemática y simplificada del proceso para la producción de cemento en donde se describen las fases mencionada anteriormente.

Figura 6. Fases del proceso de producción de cemento



- 1 Fase de explotación de caliza
- 2 Fase de trituración de caliza
- 3 Fase de alimentación de materias primas

- 4 Fase de molienda de crudo
- 5 Fase de homogeneización de harina
- 6 Fase de precalentamiento de harina
- 7 Fase de clinkerización
- 8 Fase de enfriamiento de clínker
- 9 Fase de molienda de Cemento
- 10 Fase de empaque de cemento
- 11 Fase de molienda y suministro de carbón
- 12 Fase de filtración de gases de combustión

Una vez obtenida la harina en la fase de molienda de crudo, es almacenada en un silo que sirve para homogeneizar la mezcla, la cual es alimentada al horno a través de una torre precalentadora que está conectada al mismo en donde se lleva a cabo la fase de clinkerización. La harina que ingresa al horno es calcinada y transportada por este hasta un enfriador rotatorio donde se realiza la fase de enfriamiento, en la cual se baja la temperatura del clínker, para ser almacenado en un silo. Esta es la primera etapa en el proceso que consiste en la obtención del clínker, que es la materia prima para producir cemento. El clínker depositado es transportado hasta la estación de molienda de cemento donde se realiza la fase de molienda de cemento, que consta de un molino de bolas horizontal, al cual se introduce una mezcla de clínker, yeso y escoria pulverizada, que son molidos y pulverizados, obteniendo como producto final el cemento Pórtland tipo 1, que es almacenado en un silo y posteriormente transportado hasta la empacadora, donde es ensacado en bultos de 50 kilogramos. Existen otras áreas complementarias al proceso tales como el proceso de molienda de carbón, que es donde se procesa este combustible

Este proceso consta de un molino horizontal de bolas, que muele el carbón triturado y lo convierte en un material de constitución bastante fina que facilita la ignición y la quema de este. Una vez pulverizado, este se alimenta al horno por vía neumática, generando la llama que aporta el poder calorífico necesario para Clinkerizar la harina molida.

El horno cuenta con un sistema de filtración de los gases de combustión conformado por un filtro tipo **pulse jet**, que evita la transmisión a la atmósfera de material particulado, convirtiéndose este en el subproceso más importante desde el punto de vista ambiental, el cual debe obedecer a los requerimientos que dictan las entidades encargadas de la protección del medio ambiente.

1.8 SITUACIÓN ACTUAL

1.8.1 Antecedentes. La compañía de cementos andino fue fundada con una visión de pertenecer al grupo de las compañías cementeras de clase mundial. Con este objetivo se empezó a buscar estrategias que permitieran el crecimiento tanto en tamaño como en el enriquecimiento de la cultura del mejoramiento continuo. Desde el inicio se ha buscado la mejor manera de hacer que los equipos hagan lo que se quiere, buscando siempre la mejor disponibilidad con unos costos que permitan la competitividad en el medio.

Por esta razón se diseñaron los planes de mantenimiento con un esquema basado en el mantenimiento preventivo y con herramientas para realizar mantenimiento predictivo, pensando siempre que la disponibilidad de las máquinas es lo más importante para lograr los objetivos propuestos.

A pesar de que la misión del proceso de mantenimiento apunta a este objetivo, se estaba dejando de lado un aspecto muy importante como es la confiabilidad, que en últimas es la que define una buena o mala disponibilidad de los equipos para lograr las metas productivas.

Se debe tener presente que cuando se habla de mantenimiento, se habla también de productividad, que es un aspecto que no se ha logrado integrar muy bien. En la actualidad existe una gran brecha, que dificulta la relación efectiva entre producción y mantenimiento, y se aplican paradigmas tradicionales, en donde se piensa que mantenimiento y producción van por caminos diferentes, y esto, se refleja en malos entendidos, insatisfacción en cuanto a las expectativas que se esperan, tanto del que recibe el servicio como el que lo ofrece.

1.8.2 Análisis de la situación actual. El diagnóstico de la situación actual se resume en :

- Tiempo Medio entre fallas bajo (entre 2 y 10 días según el área).
- Índices de emergencias con tendencia al aumento.
- Alto flujo de órdenes de trabajo en actividades que no agregan valor.
- Prácticas de mantenimiento inadecuadas.
- Dificultad en la compra oportuna de repuestos.
- Un buen número de equipos que ya cumplieron su ciclo de vida útil.

Actualmente Cementos Andino cuenta con una filosofía de mantenimiento correctivo y preventivo.

El mantenimiento correctivo se concentra en la reacción para solucionar parcial o totalmente las emergencias que se presentan en el proceso. El mantenimiento preventivo se realiza de acuerdo con el plan mensual establecido, el cual consta de actividades tales como:

- Rutinas de inspección de equipos
- Rutinas de lubricación
- Paradas de mantenimiento programadas
- Rutinas de análisis de vibraciones
- Rutinas de análisis de aceites
- Rutinas de termografías

Actualmente existen seis fases para la realización del mantenimiento a saber:

- Fase de aviso, la cual se hace a través de SAP por parte de los procesos que requieren el mantenimiento, creando un aviso o solicitud de orden de trabajo.
- Fase de planeación, en la cual el planador prioriza el trabajo y convierte el aviso en orden de trabajo. Los órdenes de trabajo pueden ser prioridad 1 que corresponde a las emergencias, prioridad 2 que corresponde a los trabajos para ejecutar entre uno y dos días, prioridad 3 mantenimientos programados y prioridad 4 se refiere a trabajos de baja criticidad.
- Fase de programación, en donde se asigna la fecha de la ejecución de la orden.
- Fase de ejecución, en donde se ejecuta la orden de trabajo por parte de los operadores de mantenimiento, dependiendo la especialidad a la que corresponda la orden ya sea de trabajos mecánicos, eléctricos o de instrumentación y control.
- Fase de supervisión, en donde se da visto bueno al trabajo realizado y se entrega el equipo a producción para su operación.
- Fase de control y retroalimentación del plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento esta basado en actividades de mantenimiento, las cuales están divididas en tareas u operaciones, que corresponden al paso a paso para la ejecución de una orden de trabajo. Estas actividades se han programado en el tiempo con una periodicidad estimada empíricamente, con una filosofía de sentido común, más que por un estudio metodológico realizado para tal fin. Esto conlleva a que se haga sobremantenimiento, y se acumulen enormes cantidades de órdenes de trabajo sin ejecutar, aumentando los costos y la efectividad del mantenimiento ejecutado y reflejándose en unos indicadores de tiempo medio entre fallas muy bajos.

En el modelo actual existen muchas deficiencias en la gestión de almacén, la cual no está de acuerdo con un sistema de gestión de mantenimiento eficiente, ya que no están claras las políticas respecto a cual debe ser el costo óptimo del almacén y no se tiene establecido un método adecuado para calcularlo, además de no existir un método que nos ayude a calcular cual deben ser las cantidades de **stock** de repuestos y sus tiempos de reposición. Esto conlleva a que no exista claridad de lo que es razonablemente correcto en cuanto a cantidades de repuestos, insumos, tiempos de reposición etc. tanto para los encargados de hacer las compras y almacenarlas como para los directores de las áreas que requieren del servicio de suministros de almacén.

En cuanto a la misión de mantenimiento solo se hace énfasis en garantizar la disponibilidad de los equipos, pero no se habla de garantizar la confiabilidad de los mismos, lo que la hace limitada y no se corresponde con la visión de la compañía, de ser una empresa de clase mundial.

De otra parte no se lleva el indicador de mantenibilidad, y no existe un plan de acción para mejorar la mantenibilidad de muchos equipos que fueron montados sin tener en cuenta una planificación espacial adecuada, lo cual dificulta enormemente la realización de los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo.

1.8.3 Distribución de la mano de obra por tipo de mantenimiento. En la tabla 1 se puede ver como está distribuida la mano de obra de acuerdo con el tipo de mantenimiento ejecutado y también como es su distribución porcentual. Vale la pena aclarar que en el porcentaje de mantenimiento preventivo están incluidas todas las intervenciones de mantenimiento realizadas con herramientas de mantenimiento predicativo, tales como termografías, análisis de vibraciones y análisis de aceites, las cuales están definidas en el sistema SAP como CA 02; ver tabla 1.

El mantenimiento correctivo programado se define como el que se hace con mentalidad preventiva, derivado de las inspecciones realizadas por el personal de campo, los lubricadores y de los mismos inspectores de equipos. Este tipo de mantenimiento esta definido así en el sistema SAP, el cual permite visualizar la distribución de los tipos de mantenimiento y lo define como mantenimiento CA01, ver tabla 1.

Tabla 1. Distribución de la mano de obra de acuerdo al tipo de mantenimiento

TIPO DE MANTENIMIENTO	SANGIL	BETANIA	SABANAGRANDE
MANDANTE SAP	1300	1100	3100
HH CA01	1887.35	778.6	2779
HH EMERG	76.9	205	194.5
HH CA02	2407.13	1047.45	1817
TOTALHH	4294.48	1826.05	4596
%EMERGENCIAS	1.8%	11.2%	4.2%
%CORRECTIVO PROGRAMADO	42.2%	31.4%	56.2%
%PREVENTIVO	56.1%	57.4%	39.5%

De igual forma en la tabla número 2 se puede ver la distribución de las horas hombre empleadas en mantenimiento correctivo y preventivo, según el grupo de planificación ya sea mecánico, eléctrico y de instrumentación.

Tabla 2. Distribución Horas Hombre por grupos de planificación

GRUPO DE PLANIFICACION	%CORRECTIVO	%PREVENTIVO
MECANICO	40.0	60.0
ELECTRICO	64.6	35.4
INSTRUMENTACION Y CONTROL	22.1	77.9

Sistema de información SAP corporativo

En cuanto al número de órdenes de trabajo generadas, mensualmente se tienen unos promedios que incluyen los grupos de planificación, lo cual podemos ilustrar en la tabla 3.

Tabla 3. Número de órdenes de trabajo generadas y ejecutadas según grupo de planificación

GRUPO DE PLANIFICACIÓN	No DE OT GENERADAS	No DE ÓRDENES EJECUTADAS
Mantenimiento Mecánico	449	368
Mantenimiento Eléctrico	88	73
Mantenimiento de Instrumentación	200	159
Total	737	600

Sistema de información SAP corporativo

1.8.4 Análisis DOFA para la planta de cemento andino san Gil

✓ Fortalezas:

Ubicación geográfica cerca de la fábrica, rica en yacimientos de caliza.
 Fuerza laboral con gran experiencia en la industria del cemento.
 Fuerza laboral que conoce debilidades y fortalezas de la competencia.
 Acceso a un nicho de mercado descuidado por la competencia.
 El alto grado de compromiso de las personas con la calidad y el buen servicio al cliente.
 El tener la herramienta de la certificación ISO del producto y sus procesos, cosa que la competencia no tiene implementada a nuestro nivel.
 Ubicación geográfica favorable lejos de otras fábricas, que permite buenos precios en la zona de influencia.

✓ Debilidades:

Falta de recursos para la investigación en el campo energético.
 Deficiencia en la calidad del servicio de energía eléctrica.
 El bajo volumen de producción que hace que los costos por tonelada de cemento sean altos en relación con la competencia.
 Flujo de caja traumatizado por los proyectos de inversión en desarrollo y por los montajes de otras fábricas del grupo empresarial.
 Bajo volumen de producción y alto costo directo.
 Alto costo energético en relación a lo producido.

✓ **Oportunidades:**

Oportunidad de expandir el mercado en una zona de influencia más amplia de la región Guanentina.

Oportunidad de adquisición de minas con nuevas reservas de caliza.

Oportunidad de comprar nuevos equipos para montar otras plantas de la misma capacidad, ubicadas en zonas estratégicas del mercado.

Oportunidad de compra de equipos de bajo costo y de gran impacto positivo en la producción actual.

Oportunidad de entrar en el mercado del concreto, con posibilidades de montar nuevas plantas procesadoras.

Oportunidad de generación autónoma de energía eléctrica.

Oportunidad de diversificar los productos ofrecidos al mercado nacional e internacional como otros tipos de cemento.

Oportunidad para diversificar la presentación del producto ofrecido (cemento a granel, **big bags**).

✓ **Amenazas:**

La creciente presión por parte de los grandes productores de cemento, con el propósito de sacar del mercado a la compañía.

Posibles guerras de precios.

El conflicto con la comunidad aledaña a la compañía, que se queja permanentemente por el impacto ambiental producido por la fábrica.

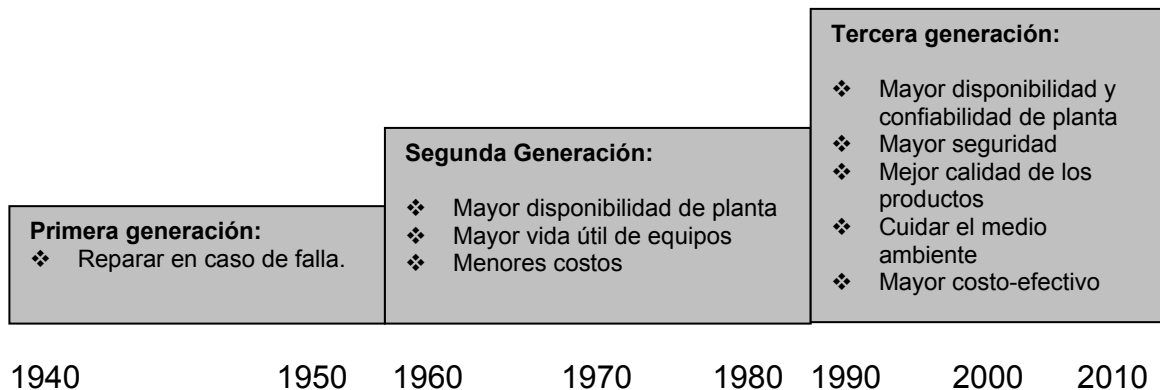
El creciente aumento de los precios del carbón, que hace menos rentable el proceso de la fabricación del cemento.

2. MANTENIMIENTO BASADO EN RCM 2

A la luz de RCM 2 el objetivo básico que debe cumplir un sistema de gestión de mantenimiento no solamente consiste en aumentar la disponibilidad de los equipos al menor costo posible, sino que se deben tener en cuenta todos los aspectos a los que la función mantenimiento afecta, como son el riesgo, la seguridad, la integridad ambiental, la eficiencia energética, la calidad del producto, el servicio al cliente y se enfoca en aumentar la confiabilidad de los activos físicos, desempeñándose en su contexto operacional. Un sistema de gestión basado en RCM 2 involucra a los mantenedores y a los usuarios de los activos físicos, buscando esencialmente evitar, eliminar o reducir al mínimo las consecuencias de los fallos y también buscando preservar la función de los mismos.

El RCM 2 sirve para estructurar un plan de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional, que indique lo que se debe hacer, cuales son las tareas proactivas que se deben ejecutar, sin caer en excesos o pérdidas de tiempo y de recursos en actividades que por más que se hicieran, no lograrían los resultados satisfactorios en el desempeño de los equipos. Visto de otra forma RCM 2 es una metodología que permite identificar las estrategias de mantenimiento óptimas, para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción en un mundo donde las expectativas del mantenimiento son más crecientes como se ilustra en la figura 7.

Figura 7. Expectativas crecientes del mantenimiento



RCMII-Mantenimiento Centrado En confiabilidad.

El RCM 2 permite distribuir los recursos asignados a la gestión de mantenimiento de manera efectiva, teniendo en cuenta los aspectos que conforman la eficiencia global de producción y sus posibles efectos o consecuencias de los modos de falla de estos activos sobre la seguridad, el medio ambiente y las operaciones.

La metodología RCM 2 implica una revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso determinado, sus entradas y salidas el modo en que pueden dejar de cumplirse tales funciones y las causa que los originaron, las consecuencias de las fallas funcionales y las tareas de mantenimiento óptimas para cada situación, como pueden ser predictivo, preventivo etc. en función del impacto sobre la seguridad de las personas, el medio ambiente y la producción.

2.1 LA EVOLUCIÓN DE RCM 2

La humanidad depende cada vez más de la riqueza generada por las industrias altamente mecanizadas y automatizadas, sin dejar de lado la seguridad de las personas que están involucradas en estos procesos. Cuando los activos fallan no solo se deteriora la estabilidad económica de estos negocios sino que también se pone en riesgo la vida de personas y el medio ambiente hasta llegar a lo sucedido con industrias como, Amoco Cadiz, Chernobyl, Bhopal y Piper Alpha. Por todo esto es necesario profundizar en los procesos por los cuales ocurren estas fallas y lo que debe hacerse para evitarlas. La primera industria en tener en cuenta este análisis, fue la industria de la aviación civil internacional. Sobre la base de investigaciones que cambian muchas de nuestras creencias más firmes respecto del mantenimiento, esta industria desarrolló un marco estratégico totalmente nuevo de manera que cada activo continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga. Esta metodología se conoce dentro de la industria de la aviación como MSG3, y fuera de esta como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM.

El mantenimiento centrado en confiabilidad se desarrolló durante un periodo de 30 años. Uno de los acontecimientos principales de su desarrollo fue un reporte comisionado por el departamento de defensa de los Estados Unidos para United Airlines y preparado por Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978. El reporte brindó una descripción integral de desarrollo y la aplicación de RCM en la industria de la aviación civil, y sentó las bases de la mayoría del trabajo hecho en este campo fuera de la industria aeronáutica en los últimos 15 años.

Desde el comienzo de los años 80, el autor y sus asociados han ayudado a las compañías a aplicar el RCM en cientos de emprendimientos industrias de todo el

mundo, trabajo que condujo en 1990 del RCM 2, para otras industrias fuera de la industria de la aviación.

El RCM siguió evolucionando hasta el punto que las últimas versiones de los tratados de RCM 2 involucraron nuevos capítulos y se ampliaron otros, para incorporar los últimos desarrollos. Es así como se da a conocer una visión más amplia y profunda de los modos de falla y sus efectos, con énfasis en un minucioso detalle en los niveles de análisis. También se tiene en cuenta una nueva metodología para establecer los niveles tolerables de riesgo, se incorporó un método más riguroso para así poder determinar los intervalos de búsqueda de falla, se amplió la información sobre recomendaciones para la implementación, haciendo énfasis en la auditoría de RCM 2, se incorporó más información acerca de cómo se debe aplicar RCM 2 incluyendo más información sobre el papel del facilitador, nueva herramienta para la medición del desempeño del mantenimiento y los distintos tipos de errores humanos, y el papel que juegan en las fallas de los activos físicos y un estudio de más de 50 nuevas técnicas sobre monitoreo a condición.

Además de los cambios mencionados anteriormente, los términos “técnicamente factible” y “merecer la pena” sustituyeron a “apropiado” y “eficaz”. Se incluyó el proceso secundario de decisión para funciones ocultas; se hicieron cambios en el árbol de decisión en las letras H y S para evitar ambigüedades y confusión con la palabra seguridad, se replantearon varias preguntas del árbol de decisión para facilitar su comprensión y el término de “reacondicionamiento cíclico”, sustituyó la frase “retrabajo reprogramado” ya que “retrabajo” tiene varios significados en las empresas manufactureras.

2.2 ALCANCE DE RCM 2 EN LA PLANTA DE CEMENTOS ANDINO SAN GIL

Con la metodología propuesta por los procedimientos se pretende llegar a cada uno de las fases del proceso de fabricación del cemento en la planta de San Gil, aplicando sistemáticamente cada uno de los pasos con el objetivo de determinar lo que se debe hacer para que cualquier activo involucrado en el proceso, continúe haciendo lo que los usuarios necesitan que haga.

Para tal efecto, se tendrá en cuenta el esquema de fases del proceso o sistemas, los cuales serán analizados uno por uno, y se presentará un análisis completo de cada una de las etapas para una sección en particular, a la cual se le aplicará la metodología, y se le definirá la estrategia de mantenimiento, derivada del análisis del modo de falla y sus efectos, en cada una de las funciones de los activos que conforman el sistema.

Con la aplicación de la metodología propuesta, se garantiza la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada, lo que da cumplimiento a todos los requisitos del sistema como son, el propietario, los usuarios, la comunidad y los clientes, y así se cumplen todas las normas de seguridad y medio ambiente, para maximizar el beneficio global de la compañía.

2.3 PRINCIPIOS DE RCM 2

A continuación se enumeran los principios utilizados por RCM 2.

- Es un método orientado a la función en donde se busca preservarla.
- Se orienta a preservar las funciones de sistemas completos, más que a los componentes o equipos individuales.
- Se centra en alcanzar la confiabilidad inherente de los activos.
- Reconoce las limitaciones del diseño, el cual define la confiabilidad más que el mantenimiento, aunque puede aportar antecedentes para mejorarlo.
- Toma en cuenta la seguridad, la cual debe cumplirse a todo costo, el medio ambiente y la economía, en donde la efectividad de costos y los riesgos son criterios importantes.
- Define una falla como una condición no satisfactoria, en donde la pérdida de función es cuando la operación se detiene o cuando el rendimiento disminuye, aún cuando la operación continúe.
- Usa un método lógico para definir las tareas de mantenimiento, por lo tanto es aplicable a toda clase de equipos.
- Las tareas empleadas deben ser factibles.
- Las tareas deben ser justificadas y efectivas en donde estas deben ser más baratas que las consecuencias o reducir los riesgos.
- Es un sistema dinámico el cual toma datos de los resultados obtenidos y los retroalimenta para mejorar al futuro.

2.4 NECESIDAD DE RCM

Cuando se asumen viejos paradigmas acerca de cómo se debe hacer mantenimiento y prácticas de mantenimiento en desuso, se necesita RCM 2. Algunos de estos paradigmas y malas prácticas de mantenimiento se pueden resumir como sigue:

- Cuando los usuarios creen que los paros y averías son solo problemas de mantenimiento.
- Cuando las prioridades de los operadores y mantenedores son diferentes

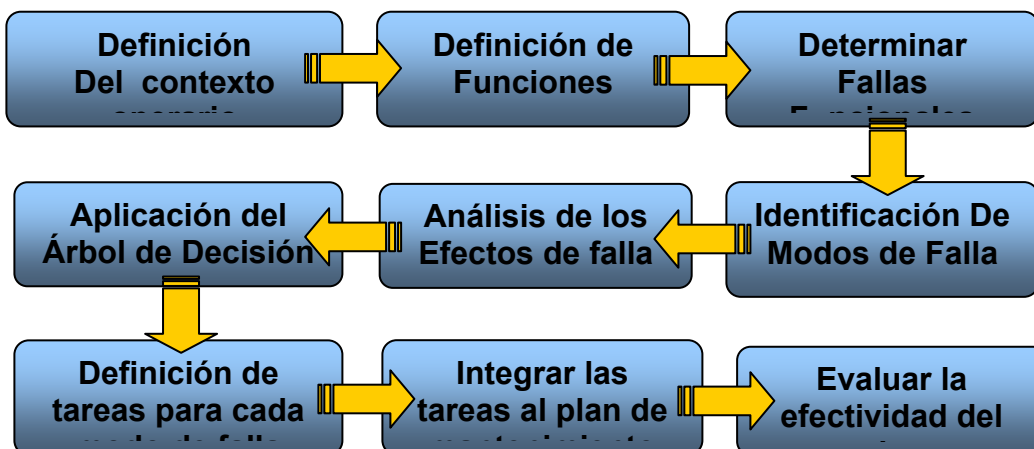
- Cuando las paradas programadas son largas y costosas.
- Cuando los planes de mantenimiento fueron realizados por personas cercanas a los equipos.
- Cuando las empresas no tienen un desempeño aceptable en materia de seguridad e integridad ambiental.
- Cuando las empresas realizan mucho mantenimiento preventivo que se hace simplemente porque es la costumbre.
- Cuando los costos de mantenimiento son muy altos en relación con otros negocios similares.
- Cuando se asume que la confiabilidad es igual al tiempo medio entre fallas.

Durante la implementación de un sistema basado en RCM 2 es necesario el apoyo de la alta gerencia, para la inversión en materia de tiempo y costo en la capacitación y la implementación.

2.5 ¿CÓMO SE HACE UN ESTUDIO RCM 2?

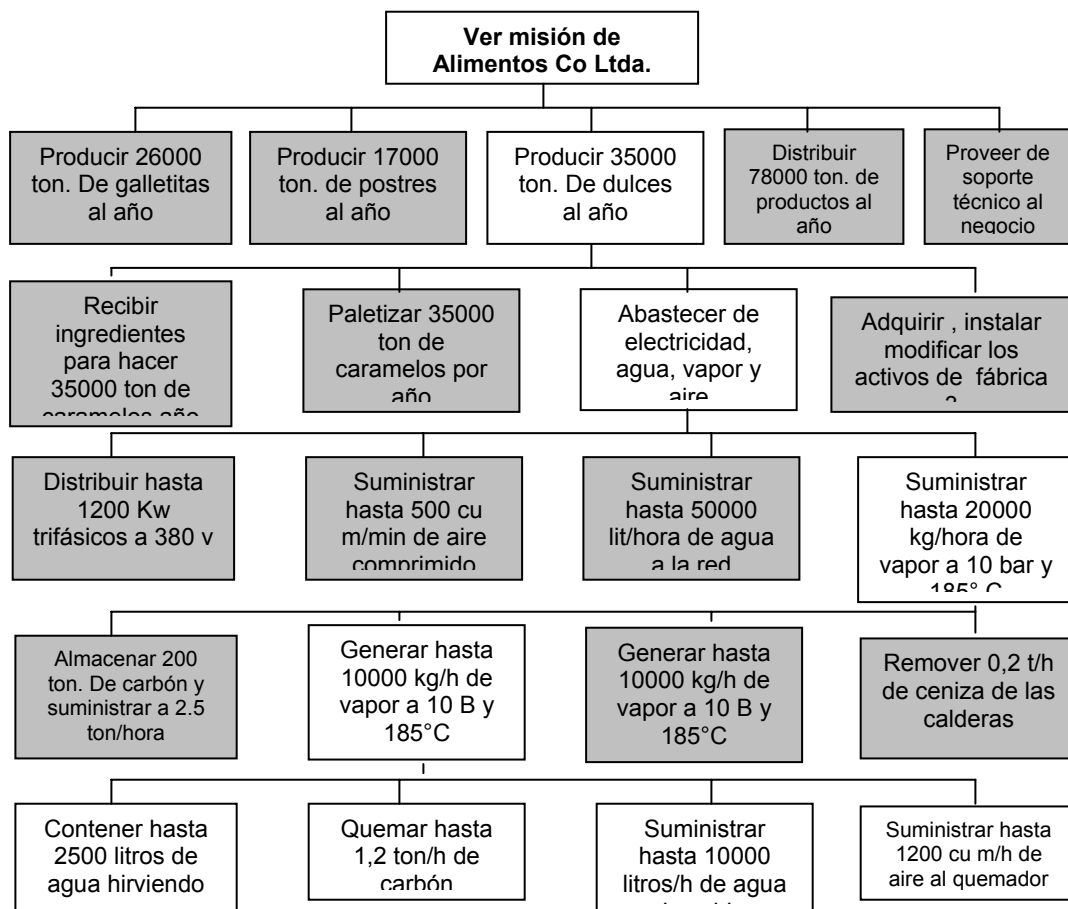
Cuando se ha logrado el apoyo de la alta gerencia y se toma conciencia de la utilidad de RCM 2, y se han superado las etapas de la capacitación en lo que se refiere al entrenamiento y conocimientos acerca de este tema, es necesario tener bien definido el contexto operacional del sistema que se piensa estudiar, con el fin de establecer una ubicación en el espacio y poder definir las prioridades y necesidades de los sistemas involucrados en dicho estudio. Para ello se debe proceder, teniendo en cuenta los siguientes pasos descritos en la figura 8.

Figura 8. Pasos para conducir a un estudio RCM2



La herramienta más importante de un estudio RCM 2 es el AMEF, que permite utilizar su metodología con el fin de estudiar las funciones con sus modos de falla y sus efectos, que posteriormente serán sometidos al árbol de decisión que se emplea para determinar las tareas que definirán el plan de mantenimiento. Cuando se tienen identificados, definidos y delimitados los sistemas, es necesario crear un diagrama funcional de bloques que parte de lo general y se va estructurando hasta llegar a subsistemas o bloques específicos. El diagrama de bloques debe estar enfocado en las funciones para las que fueron hechos los sistemas y activos, y no hacia lo que son. En la figura 9, se muestra un diagrama de bloques que nos sirve para ilustrar lo explicado en esta sección.

Figura 9. Diagrama funcional de bloques



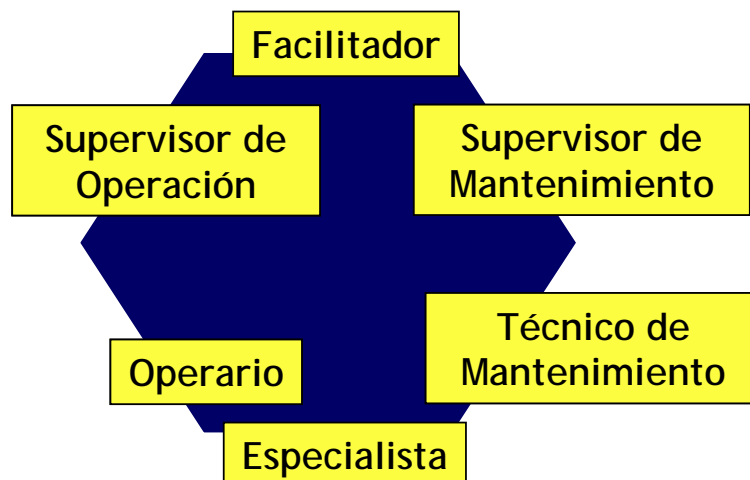
RCM II-Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Con el diagrama de bloques se definen las funciones principales y secundarias, según el grado de detalle al que se quiera llegar, siendo esto último una gran ventaja, ya que el estudio realizado puede hacerse muy minucioso, y así analizar las partes de la máquina que se requieran.

2.6 ESQUEMA PROPUESTO PARA REALIZAR UN ESTUDIO RCM 2

Existe en la actualidad, una manera de llevar a cabo un estudio RCM 2 para cualquier empresa, que posea equipos para la obtención de valor agregado. Entre las políticas de mejoramiento continuo de las empresas que quieren tener un mantenimiento de clase mundial, se hace necesaria la intervención de todo el equipo de personas que trabajan en el proceso de transformación de materias primas, con una activa participación de la alta gerencia, para lograr la implementación de un esquema que permita el desarrollo de las actividades de mantenimiento, y cumplan con los estándares internacionales de competitividad. Para empezar el estudio RCM 2, se debe realizar una inducción al personal que participará en el estudio, conformado básicamente por personal de producción, mantenimiento, planeación y soporte técnico. Posteriormente se entrena a los líderes o facilitadores que estarán al frente de los grupos de análisis, los cuales serán los responsables del direccionamiento de cada uno de los análisis realizados por sistema o fase del proceso. Un grupo de análisis puede estar conformado como se muestra en la siguiente figura:

Figura 10. Esquema de un grupo de análisis de RCM 2



RCM II- Mantenimiento Centrado en confiabilidad

Los grupos de análisis de RCM 2 trabajan bajo la guía de los facilitadores, que son los integrantes más importantes del proceso y cuyo rol debe asegurar que:

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

2.7 PRINCIPALES TÉRMINOS Y DEFINICIONES

- **Confiability.** Probabilidad de que un componente cumpla su función en un intervalo de tiempo preestablecido y un contexto definido.
- **Disponibilidad.** Probabilidad de que un equipo esté operando y sea operable en un tiempo preestablecido
- **Mantenibilidad.** Probabilidad de que un equipo sea mantenido o recolocado en condiciones de ejecutar sus funciones requeridas en un tiempo predefinido.
- **Mantenimiento Proactivo.** Forma de gestión del mantenimiento orientado a la prevención de fallas.
- **Mantenimiento reactivo.** Forma de gestión del mantenimiento en la cual solo se reacciona ante las fallas, aunque se espera que el equipo no deje de cumplir su función.
- **Monitoreo de condición.** Toma de datos y variables de proceso, para efectuar análisis del comportamiento en el tiempo de un componente.
- **Falla oculta.** Se dice que una falla es oculta, si ésta no se hace evidente a los operarios bajo circunstancias normales, o si se produce por sí sola, sin explicación evidente.
- **Falla funcional.** Se define como la incapacidad de cualquier activo físico para cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

- Función primaria. Es la razón por la cual fue adquirido un activo; la razón de ser del activo.
- Función secundaria. Es toda función adicional por la cual fue adquirido un activos; seguridad, ecológicas, control, integridad estructural, confort, contención, apariencia etc.
- Modo de falla. Es cualquier evento que causa una falla funcional
- Tiempo Medio Entre Fallas. Se define como el tiempo promedio en que se presenta una falla.

2.8 ANÁLISIS DOFA DEL PROCESO RCM 2 EN LAS EMPRESAS

2.8.1 Debilidades

- ✓ Baja prioridad frente a actividades cotidianas
- ✓ Trabajo tan dispendioso como tedioso
- ✓ Requiere personal experto y normalmente muy comprometido con este tipo de ejercicios
- ✓ Proceso frecuentemente afectado durante el año por otros programas estacionales del negocio
- ✓ Esfuerzo inicial grande con resultados relativamente imponderables con anticipación
- ✓ Proceso altamente dependiente del criterio técnico y por tanto susceptible de confrontaciones difíciles de manejar.

2.8.2 Oportunidades

- ✓ Notable reducción de esfuerzos y recursos con criterio y certeza del resultado
- ✓ Hacer solamente lo justo y necesario para garantizar las exigentes demandas comprometidas
- ✓ Normalización del mantenimiento rutinario
- ✓ Definición de las mejoras “Rediseños” realmente indispensables para el proceso
- ✓ Documentación del análisis de cada falla
- ✓ Facilita la revisión de cambios mayores del proceso

2.8.3 Fortalezas:

- ✓ Proceso bien reputado en el ámbito mundial y con evidentes ventajas comprobadas en la compañía
- ✓ Facilita la evolución del concepto de mantenimiento convencional a “centrado en el negocio”
- ✓ Abre con criterio opciones tan extremas como rediseño obligatorio
- ✓ Estructurada forma de Identificar riesgos de seguridad y ambientales
- ✓ Hay ya varias personas claves del proceso entrenadas y prácticas en el uso de la metodología

2.8.4 Amenazas

- ✓ Manejo de turnos en especial de noche
- ✓ Trabajo en sitio con múltiples distractores (excusas)
- ✓ Agilización del proceso a costa de la metodología
- ✓ Proceso de implementación cuestionado u obstaculizado por técnicos/operadores (reactividad al cambio)
- ✓ Reducción permanente de recursos internos reduce la capacidad de adelantar estas actividades.

2.9 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS

El AMEF es quizá la herramienta más importante con que cuenta RCM 2 para realizar los estudios pertinentes en cualquier contexto operacional; por esta razón a continuación se hace una introducción a los principales concepto que utiliza AMEF.

¿Que es un modo de falla?

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico, aunque es más correcto hablar de una falla funcional.

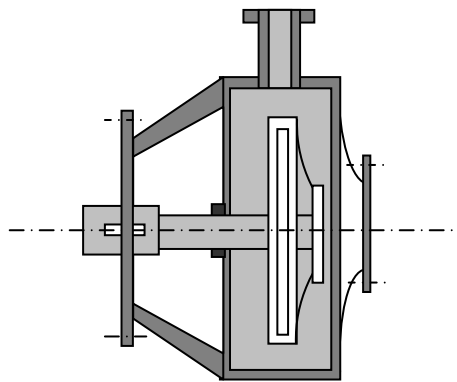
Los modos de falla se analizan ya que una maquina puede fallar por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como una línea de producción puede fallar por cientos de razones. Para una planta entera, los números ascienden a miles e incluso a decenas de miles. La mayoría de gerentes no se sienten muy

cómodos al pensar en el tiempo y el esfuerzo involucrado en la identificación de todos estos modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado dispendioso y abandonan la idea por completo. Pero cuando hacen esto, pasan por alto el hecho que en el día a día el mantenimiento es manejado a nivel de modo de falla. Por ejemplo:

- Las órdenes de trabajo o pedido de trabajo surgen para atender modos de falla específicos.
- El planeamiento del mantenimiento diario se realiza para tratar modos de falla específicos.
- En la mayoría de las empresas industriales el personal de mantenimiento y operaciones tiene reuniones cada día, casi siempre para tratar temas de lo que ha fallado el día anterior.

En la siguiente figura podemos ver tres ejemplos de modos de falla.

Figura 11. Ejemplo de modos de falla en un abomba centrífuga



Impulsor desgastado: Manejar la falla cambiándolo antes de que culmine su vida útil

Impulsor dañado: manejar la falla instalando filtro en la línea de succión

Impulsor suelto: manejar la falla entrenando al personal para que los coloque correctamente.

En la mayoría de estos casos, los modos de falla son discutidos, registrados, y manejados luego de haber ocurrido. Tratar fallas después de haber ocurrido es la esencia del mantenimiento reactivo.

Por otro lado el mantenimiento proactivo, significa manejar los eventos antes de que ocurran o al menos decir como deberían ser manejados en caso de que ocurran. Por ello se debe saber por adelantado, que tipo de eventos podrían ocurrir. Los eventos, en este contexto, son los modos de falla. Entonces si se

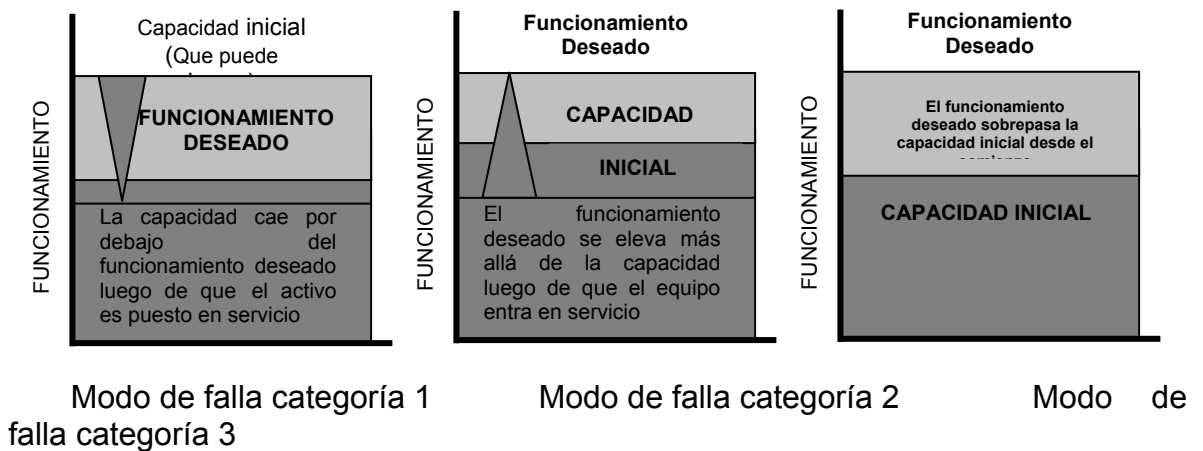
requiere aplicar un mantenimiento verdaderamente proactivo a cualquier activo físico, se debe tratar de identificar todos los modos de falla que puedan afectarlo. En la siguiente figura se ven tres ejemplos de modos de falla.

Los modos de falla se pueden clasificar en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva por encima de la capacidad inicial
- Cuando desde el comienzo, el activo físico no es capaz de hacer lo que se le quiere.

En las siguientes figuras se explican las tres categorías de modos de falla:

Figura 12. Categorías de modos de falla



La primera categoría de modo de falla, cubre las situaciones en las que en un primer momento la, capacidad está por arriba del funcionamiento deseado, pero que luego decae cuando el activo físico es puesto en servicio. Las cinco causas principales de pérdida de capacidad son:

- Deterioro
- Fallas de lubricación
- Polvo o suciedad
- Desarme
- Errores humanos que reducen la capacidad

La segunda categoría de modo de falla, ocurre cuando el funcionamiento deseado, está dentro de la capacidad del activo físico al ser puesto en servicio, pero luego éste aumenta, hasta que el activo físico no puede, esto hace que la máquina falle por una de estas dos razones:

- El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder
- El aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en el que el activo físico se torna tan poco confiable que deja de ser útil.

Este fenómeno se debe a cuatro causas principales, tres de las cuales implican algún tipo de error humano:

- Una sobrecarga deliberada constante
- Una sobrecarga no intencional constante
- Una sobrecarga no intencional repentina
- Procesamiento o material de empaque incorrecto.

Para explicar la categoría 3 de modos de falla, se puede decir que para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del rango de su capacidad inicial. Sin embargo, surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado, está fuera de la capacidad inicial desde el comienzo.

Esta incapacidad rara vez afecta al activo físico en su totalidad. Usualmente afecta tan solo una o dos funciones o uno o dos componentes, pero estos puntos débiles afectan la operación de toda la cadena.

2.10 EFECTOS DE LAS FALLAS

Otro paso en el proceso de revisión RCM consiste en hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efecto de la falla. Los efectos de falla describen lo que pasa cuando ocurre un modo de falla, se debe aclarar que efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde la pregunta ¿Qué importancia tiene?.

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente al describir, los efectos de una falla, debe hacerse contar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla.
- Las maneras en las que la falla supone una amenaza para la seguridad y el medio ambiente.
- Las maneras en que afecta a la producción y a las operaciones
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla.?

2.11 HOJAS DE INFORMACIÓN

Las hojas de análisis son utilizadas para consignar toda la información pertinente en un estudio RCM, cuando se está aplicando el AMEF. En ella se escriben las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de las mismas, en el detalle que se haya escogido para este fin. En la figura 13 se representa una hoja de información a manera de ejemplo.

Figura 13. Ejemplo de hoja de información.

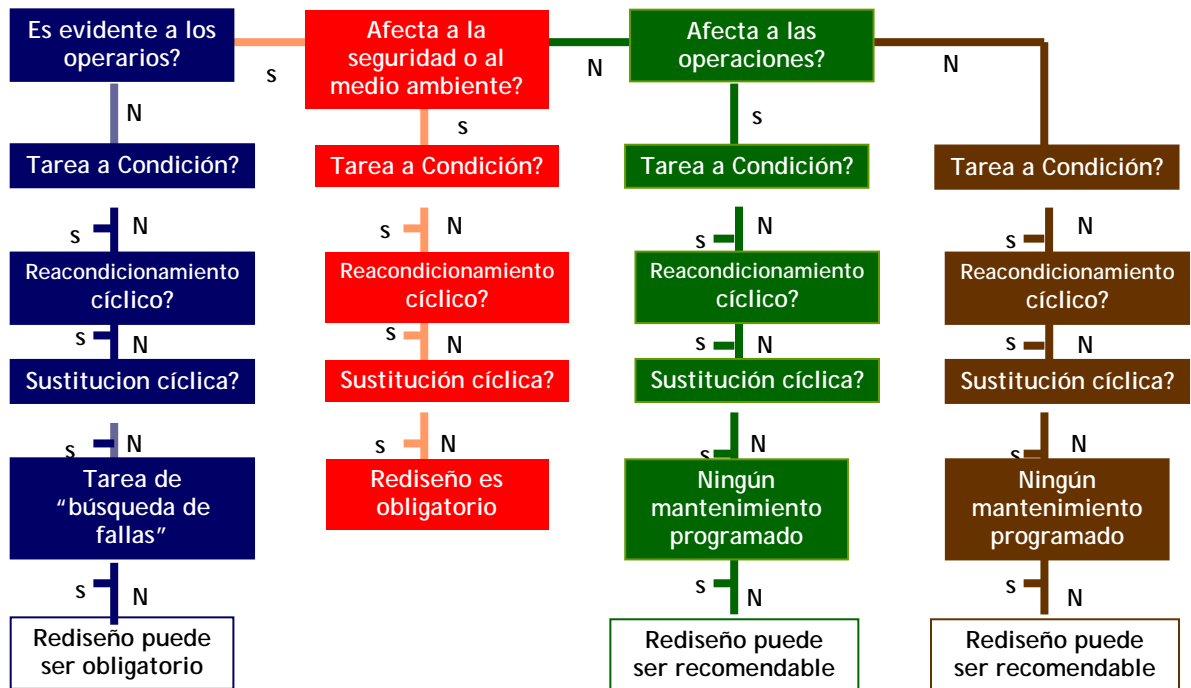
HOJA DE INFORMACION RCM II	SISTEMA : CAMION DE 40 TONELADAS		
	SUB SISTEMA		
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Transportar hasta 40 ton. de material a velocidad de hasta 95 k/h desde el punto A hasta el punto B	Incapaz de transportar material	1.No hay combustible en el tanque 2.Filtro de combustible tapado	Se trata de arrancar el motor, pero este no lo hace. El conductor revisa nivel de combustible y se da cuenta que el tanque está vacío. Tiempo para reparar la fallas 1 hora.

2.12 EL PROCESO DE DECISIÓN DE RCM

La hoja de decisión de RCM se observa en la figura 14 y sirve para:

- determinar que mantenimiento de rutina (si lo hay), será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

Figura 14. Diagrama de decisión RCM



3. ELEMENTOS PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

3.1 DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

El desempeño de la gestión de mantenimiento se basa en actuar sobre todos los aspectos de importancia para el óptimo funcionamiento de la empresa.

El departamento de mantenimiento no debe limitarse solamente a la reparación y las instalaciones; también debe pilotear los costos de mantenimiento, recursos humanos y almacenes con el fin de desarrollar una óptima gestión del mantenimiento.

3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La implementación de la gestión en mantenimiento, tiene como primera fase definir un plan directriz de actuación.

Este plan debe establecer la descripción de las diferentes etapas que se llevarán a cabo para la implementación definitiva de la gestión de mantenimiento, que deberá guardar coherencia con el plan estratégico de la empresa.

3.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

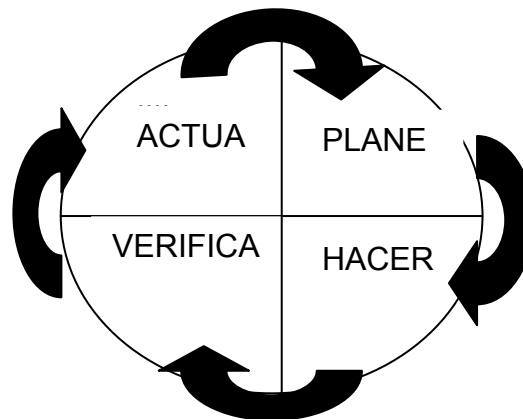
Para la elaboración del plan es necesario realizar un análisis de la situación de la empresa y de su entorno, las características de funcionamiento, y los recursos con que cuenta. En esta etapa descubrimos lo que realmente se está haciendo y como lo se está desarrollando.

Nos interesa conocer cuales son las instalaciones de la empresa, sus características particulares, el estado de la situación de almacenamiento de repuestos y sus recursos, como así también los recursos humanos.

3.4 EL PLAN DE MANTENIMIENTO

Para realizar el plan es conveniente aplicar el método por fases denominado P.H.V.A. que se basa en la aplicación de un proceso de acción cíclica, que consta de cuatro fases fundamentales, indicadas en la figura 15.

Figura 15. Esquema del ciclo P.H.V.A.



Mantenimiento Su Implementación y Gestión.

En base a este proceso se desarrolla el plan directriz de actuación que consta de las siguientes etapas.

3.4.1 Planear. Con base en la situación real y los recursos de que se disponen, debemos definir los objetivos que queremos cumplir con la gestión de mantenimiento y realizar el plan de mantenimiento, fijar los objetivos, e ir avanzando y asegurando cada uno de ellos, cuanto más concreto sea el objetivo que se desea cumplir, será más fácil alcanzarlo.

3.4.2 Hacer. Una vez fijado el punto de partida y los objetivos a los que se quiere llegar, debemos gestionar los recursos disponibles para lograrlos.

3.4.3 Verificar. Es necesario evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcado, el control de los resultados se realizará en comparación con las metas prefijadas.

3.4.4 Actuar. Si existen desviaciones entre el modelo prefijado y los resultados, se debe proceder a efectuar correcciones actuando sobre la planificación y la ejecución, estableciéndose así la retroalimentación del sistema.

3.5 EL TABLERO DE GESTION

El tablero de gestión es la exposición dinámica del diagnóstico del servicio de mantenimiento.

Es un conjunto de informaciones seleccionadas y ordenadas que caracterizan el estado y evolución del servicio de mantenimiento. De allí que el tablero de gestión es el producto final de un sistema de información para el control de gestión, su función es informar a la dirección, a través de ratios, la marcha de la gestión, el grado de cumplimiento de los objetivos estratégicos, tácticos y operativos.

Para la elaboración de un tablero de gestión es necesario seguir un método adecuado y es por ello que se propone cumplir con las etapas que a continuación se enumeran.

- Conocer y entender cual es la principal actividad, comprender la visión, la misión, la estrategia, los recursos humanos, técnicos, financieros, e infraestructura.
- Detectar las áreas importantes donde se balizará el diagnóstico y conocer: áreas de éxito, aquellas que crean ventajas competitivas, y áreas de riesgo que son aquellas en donde reencuentran las debilidades.
- Definir los factores de éxito de cada área de diagnóstico.
- Definir los indicadores que representan los factores de éxito.
- Definir las relaciones entre datos que provienen de la información básica, capaces de generar los indicadores del tablero.
- Definir los cuestionarios que permitan evaluar los aspectos cualitativos más importantes para el diagnóstico.
- Determinar los límites dentro de los cuales deben encontrarse el valor de un indicador, para ser considerado una fortaleza o una debilidad.

- Establecer la dirección y sentido de las tendencias de los indicadores.
- Presentar gráficos y cuadros que muestren la información de manera que su lectura resulte rápida y de comprensión directa.
- Establecer los medios de validación de la información básica primaria.

Del análisis del tablero de abordo s podría deducir:

- Si el desarrollo general de la misión se mantiene dentro de un rumbo prefijado.
- Si los resultados de las tácticas implementadas son los esperados o se han salido fuera de tolerancia.
- Qué objetivos deberían ser revisados o cambiados.
- Quién o quiénes han tenido un desempeño por encima o por debajo de lo previsto.

Logrado el primer objetivo del control y de gestión, que consiste en definir la información, será necesario asegurar el mantenimiento y validación permanente de esa información.

Para lograrlo, el control de gestión debe proceder a convertir ese cúmulo de información simple en información secundaria, más apropiada para la toma de decisiones tanto tácticas como estratégicas.

La información secundaria es la que reside en el tablero de abordo.

Con el fin de administrar y ordenar la información, esta se puede dividir en tres etapas:

- La primera etapa consiste en crear y mantener la información básica.
- La segunda consiste en la manipulación y validación de los índices y evaluaciones. En él se exponen los sensores encargados de vigilar la marcha de la organización, brindando en tiempo y forma las mediciones necesarias para contar con el adecuado diagnóstico de la situación.

- La tercera etapa cuyas conclusiones también integran el tablero de a bordo, implica una tarea mucho más compleja y comprometida: consiste en aplicar una suma de conocimientos, experiencias e idoneidad, para extraer conclusiones válidas y certeras acerca del significado de los indicadores obtenidos.

Si se tienen en cuenta las variables, índices y evoluciones es conveniente referirse a tres perspectivas de tiempo fundamentales:

- La historia ¿Cómo ha evolucionado la situación de los índices y variables a través de tiempo, antes del presente?
- El presente ¿Cuál es la situación real de hoy?
- La tendencia hacia el futuro ¿Cómo se piensa que evolucionaran esos mismos indicadores y variables en el futuro?

3.6 INDICADORES DE GESTIÓN

Un indicador de gestión está formado por la relación de dos dimensiones cuantificadas que pueden ser de naturalezas diferentes. El indicador permite la comprobación de datos externos o internos y se pueden plantear indicadores que miden la gestión dependiendo si son de operación, de costo o de personal.

3.6.1 Indicadores de costo de mantenimiento

- ✓ **Indicador de costo de mantenimiento por facturación.** Este índice muestra la relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el periodo considerado.

$$CMTF = \frac{CTMN}{FTEP}$$

- ✓ **Indicador de mano de obra externa.** Indica la relación entre gastos totales de mano de obra externa como contratación eventual y/o gastos de mano de obra en proporción a los servicios de contratos permanentes y la mano de obra total empleada en los servicios, durante el periodo considerado.

$$\text{CMOE} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{ CMOE}}{(\text{Totalidad}) \text{ FTEP}}$$

En el cálculo de éste, se pueden considerar, todos los tipos de mano de obra externa o por especialización.

La incidencia constante de valores diferentes a cero para este índice puede significar que el cuadro de personal de ejecución es insuficiente o mal preparado para algunas actividades.

- ✓ **Indicador de costo de mantenimiento por producción.** Este indicador muestra la influencia que tiene el costo de mantenimiento en el costo final del producto normalmente puede rondar entre el 5 y el 12 %.

$$\text{CMPP} = \frac{\text{Costo de mantenimientos totales}}{\text{Costo de producción}}$$

- ✓ **Indicador de mantenimiento por valor inmovilizado.** Este indicador muestra la relación entre el costo de mantenimiento y el valor inmovilizado. Pone de manifiesto el grado de envejecimiento de la instalación a mantener, puede rondar entre el 4 % y el 5%.

$$\text{CMPV} = \frac{\text{Costo de mantenimientos totales}}{\text{Valor Inmovilizado Bruto (Máquinas y equipos)}}$$

- ✓ **Indicador de costos de mantenimiento preventivo por mantenimientos totales.** Este indicador pone de manifiesto el grado de utilización de técnicas preventivas frente a las correctivas; este puede rondar en el 20 %.

$$\text{CPCT} = \frac{\text{Costo del preventivo}}{\text{Costos totales de mantenimiento (Preventivo + Correctivo)}}$$

3.6.2 Indicadores de mano de obra

- ✓ **Horas de paro por horas realizadas.** Este indicador muestra la relación entre las horas empleadas para la producción y las de paro del equipo por averías. Al tomar las horas de paro, en lugar del número de averías, se introduce en la relación, un concepto de gravedad de las averías. Al tomar las horas de producción realizadas, también se consideran la tasa de inutilización del equipo la cual generalmente oscila entre el 1 % y el 3 %.

$$\text{HPPH} = \frac{\text{Horas de paro por mantenimiento}}{\text{Horas de producción realizadas}}$$

- ✓ **Trabajos en mantenimiento preventivo.** Señala la relación entre las horas hombre gastadas en trabajos programados en mantenimiento preventivo y las horas disponibles, entendiéndose por horas hombre disponibles, aquellos presentes en la instalación y que están físicamente posibilitados para desempeñar los trabajos requeridos.

$$\text{TBMP} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{ HHMP}}{(\text{Totalidad}) \text{ HHDP}}$$

- ✓ **Trabajo en mantenimiento correctivo.** Es la relación entre las horas hombre gastadas en reparaciones de mantenimiento correctivos y las horas hombre disponibles.

$$\text{TBCM} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{ HHMC}}{(\text{Totalidad}) \text{ HHDP}}$$

- ✓ **Otras actividades del personal de mantenimiento.** Indica la relación entre las horas hombre gastadas en actividades no ligadas a el mantenimiento de los equipos de la unidad de producción, llamadas servicios de apoyo, y las hora-hombre disponibles.

$$\text{OAPM} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{ HHSA}}{(\text{Totalidad}) \text{ HHDP}}$$

- ✓ **Ociosidad del personal de mantenimiento.** Demuestra la relación, entre la diferencia, de las horas hombre disponibles, menos las horas hombre trabajadas, sobre las horas hombre disponibles, indicando por lo tanto, cuanto del tiempo del personal no fue ocupado en ninguna actividad.

$$\text{OACM} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{HHDP-HHTM}}{(\text{Totalidad}) \text{HHDP}}$$

- ✓ **Exceso del servicio del personal de mantenimiento.** Muestra la relación entre la diferencia de las horas hombre trabajadas y disponibles, y las horas hombre disponibles, indicando por lo tanto, que proporción del tiempo del personal, fue ocupado por arriba de la carga normal de trabajo.

$$\text{ESPM} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{HHTP-HHDP}}{(\text{Totalidad}) \text{HHDP}}$$

- ✓ **Gasto de personal en entrenamiento interno.** Indica la relación entre las horas hombres utilizadas en entrenamiento interno y las horas hombres disponibles.

$$\text{PETI} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{HHEI}}{(\text{Totalidad}) \text{HHDP}}$$

- ✓ **Clima social movimiento de personal.** Es la relación entre el efectivo medido en los meses precedentes y la suma de ese efectivo con el número de transferencias y renuncias voluntarias.

$$\text{CSMP} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{EMMM}}{(\text{Totalidad}) \text{EMMM} + \text{NOTR} + \text{NODV}}$$

No todas las empresas permiten que éste índice sea calculado, debido a que el mismo muestra la insatisfacción del personal. Siendo calculada, la disminución (por debajo de uno), puede alertar a los gerentes, que alguna cosa está afectando la motivación del personal (salarios, tratamiento, riesgos etc.).

- ✓ **Efectivo real o efectivo medio diario.** Demuestra la relación entre las horas hombre apartadas por vacaciones, accidentes, enfermedades, salidas permitidas con pago, entrenamiento externo, apoyo a otras áreas y faltas no pagadas y las horas hombre efectivas.

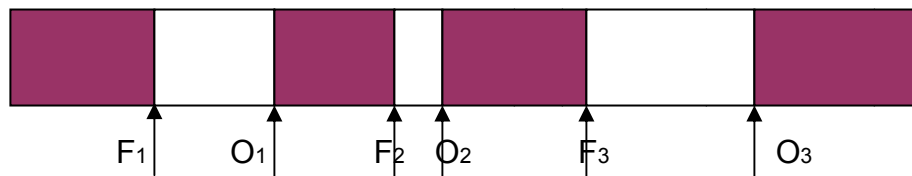
$$\text{CSMP} = \frac{(\text{Totalidad}) \text{HHAF}}{(\text{Totalidad}) \text{HHEF}}$$

El valor complementario de este índice (1-EFMD), muestra la fuerza de trabajo real del periodo, toda vez que pasará a relacionar las horas hombres disponibles en relación al tiempo efectivo. Su cálculo puede indicar la necesidad de un estudio del plan de vacaciones, (elemento que más influye en el cálculo del numerador) o la incidencia de otro evento como accidente, faltas no pagadas, etc. que requiera la atención del supervisor.

3.6.3 Indicadores de clase mundial. Son llamados indicadores de clase mundial aquellos utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis índices de clase mundial, cuatro son los que se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costos, de acuerdo con la siguiente relación:

- ✓ **Tiempo medio entre fallas.** Es la relación existente entre un periodo de tiempo programado de operación menos el tiempo que duran las fallas en dicho periodo, y el número de fallas presentadas en el periodo mencionado. Este concepto se puede ver en la figura 16.

Figura 16. Representación gráfica para calcular el tiempo medio entre fallas.



Mantenimiento su Implementación y Gestión

F_i = Número de falla i

O_i = Operación después de la falla i

Operación programada 31 días

$F_1 = 2$ días $F_2 = 1$ día $F_3 = 3$ días

Para su cálculo podemos emplear la siguiente expresión:

$$TMEF = \frac{TP - TF}{NF}$$

Para el caso de la gráfica, el resultado del tiempo medio entre fallas sería el siguiente:

$$\text{TMEF} = \frac{31 - 6}{3} = 8.33 \text{ días}$$

Esto significa que cada 8.33 días se está presentando una falla.

- ✓ **Tiempo medio para reparación.** Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\text{TMPR} = \frac{\sum \text{HTMC}}{\text{NTMC}}$$

Para el ejemplo anterior, el tiempo medio para reparar se calcula de la siguiente forma.

$$\text{TMPR} = \frac{6}{3} = 2 \text{ días}$$

Este índice se debe ser usado para casos, en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación.

- ✓ **Disponibilidad de equipos.** Relación entre la diferencia del número de horas del periodo considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención del personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo, por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo y otros servicios) para cada ítem observado y el número total de horas del periodo considerado.

$$\text{DISP} = \frac{\sum (\text{HCAL} - \text{HTMN})}{\sum \text{HCAL}} \times 100$$

Este índice también puede ser calculado como la diferencia entre la unidad y la relación entre las horas de mantenimiento y la suma de esas horas con las de operación de los equipos.

Otra expresión muy común, utilizada para el cálculo de la disponibilidad de equipos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas, es obtenida por la relación entre el tiempo medio entre fallas TMEF y su suma con el tiempos medio para reparación y los tiempos ineficaces del mantenimiento, (tiempo de reparación para desconexión y nueva conexión y tiempos de espera que pueden estar contenidos en los tiempos promedios entre fallos y reparación).

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + Tmpr} \times 100$$

El índice de disponibilidad es de gran importancia para la gestión del mantenimiento, pues a través de este, puede ser hecho un análisis selectivo de los equipos, cuyo comportamiento operacional está por debajo de estándares aceptables.

3.7 COSTOS DE MANTENIMIENTO

Se debe destacar la importancia que tiene en mantenimiento conseguir que los costos sean lo más bajo posible.

El costo de mantenimiento en las reparaciones es un componente entre otros del precio del producto, independientemente de la gestión del mantenimiento, por lo tanto siempre existirán gastos que se deben asumir, y veremos como influyen los gastos de mantenimiento en los costos generales de las empresas. Los costos de mantenimiento de un producto se sitúan entre el 5 % y el 12 % del total.

3.7.1 Los costos y su división. Los costos de mantenimiento según los diferentes aspectos, es posible agruparlos en cuatro bloques:

- ✓ **Costos Fijos.** La principal característica de estos costos consiste en que no dependen del volumen de la producción y de las ventas.

Dentro de estos costos se destacan el personal administrativo, el de limpieza, la mano de obra directa, las amortizaciones, los alquileres y el propio de mantenimiento.

Estos costos fijos de mantenimiento están compuestos principalmente, por la mano de obra y materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo.

Este gasto tiende a asegurar el estado de la instalación a mediano y largo plazo. La disminución del presupuesto y recursos destinados a este gasto fijo, limita la cantidad del mantenimiento preventivo, aunque en un primer momento supone un ahorro para la empresa. Este ahorro indica un menor índice de fiabilidad en el estado de las máquinas, equipos, instalaciones y sistemas.

- ✓ **Costos variables.** Estos costos son proporcionales a la producción realizada, es decir que son costos que como su nombre lo indica varían conforme a la producción.

Dentro de estos costos se encuentran los de embalaje, materias primas, energía, etc. y los costos variables de mantenimiento, como por ejemplo la mano de obra directa necesaria para el mantenimiento correctivo. Este mantenimiento puede producirse por consecuencia de las averías imprevistas o por las reparaciones para poder seguir produciendo; no obstante se puede reducir este tipo de gasto evitando que se produzcan averías en forma inesperada.

- ✓ **Costos financieros.** Los costos financieros referidos al mantenimiento son los que surgen tanto del valor de los repuestos como también las amortizaciones de las máquinas que se encuentran reserva para asegurar la producción.

Los costos del almacenamiento de los repuestos en el almacén, necesarios para poder realizar las reparaciones implican un desembolso de dinero para la empresa, que limita su liquidez. Si los repuestos son utilizados con cierta frecuencia surge un costo financiero bajo, dado que esta inversión contribuye a mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo cuando las piezas de recambio tardan mucho tiempo en ser utilizados, se está frente a un costo financiero alto, ya que no producen ningún beneficio para la empresa.

- ✓ **Costos por falla.** Estos costos generalmente implican una mayor significación pecuniaria, premisa que se cumple tanto para empresas productivas como para empresas de servicios.

El costo por falla se refiere al costo o pérdida de beneficio que la empresa tiene por causas relacionadas directamente con mantenimiento.

En empresas productivas, los costos de falla se deben fundamentalmente a:

- Pérdidas de materias primas
- Descenso de la productividad de la mano de obra como consecuencia de la realización de reparaciones por parte de mantenimiento.
- Pérdida de energía por malas reparaciones o por no realizarlas, como por ejemplo se pueden citar las fugas de vapor, aislamientos térmicos defectuosos, etc.
- Rechazos de productos por falta de calidad adecuada.
- Producción perdida durante la reparación no programada.
- Contaminación del medio ambiente, debido a reparaciones realizadas de manera defectuosas, o por no haberlas realizado, estas implican desembolsos importantes de dinero para la empresa.
- Averías que pongan en riesgo a las personas o a las instalaciones.

A los costos que pueden generar estos hechos se les debe adicionar el importe de las reparaciones para volver a la normalidad, en muchos casos el costo directo de la reparación puede ser pequeño frente al costo por falla que se puede originar.

El costo de falla en empresas productivas será mayor en la medida que mayor sea la automatización y armonización de la instalación. En una situación más comprometida respecto de estos costos, se encontrarán las empresas, que trabajan con el método justo a tiempo, cero almacenamiento.

Se podría calcular en forma simplificada el costo por falla, sumando los costos fijos, durante el tiempo de la reparación y el beneficio que deja de obtener la empresa en este mismo periodo.

En empresas de servicios, es difícil cuantificar el costo de falla, no obstante pueden tomarse indicadores como el tiempo necesario para la reparación y el tipo de avería cuantificándolas.

En este tipo de empresas la falta de producción no será un factor dominante del costo de falla, sin embargo puede tener efectos indirectos como por ejemplo: si en una confitería falla continuamente la iluminación, o se rompe frecuentemente la cafetera o la caja registradora, el costo por falla puede originar la pérdida de clientela e imagen.

3.7.2 Costo total de mantenimiento. Si se suman estos cuatro costos: fijos, variables, financieros y los que se producen por fallas, se obtiene el costo total de mantenimiento, este costo nos dará una idea global de la gestión de mantenimiento.

CTT = Costo Total De Mantenimiento

CTT = CFJ + CV + CFN + CFA

3.7.3 Costo óptimo de equilibrio. La gestión de mantenimiento sirve para realizar un control integral de los costos, que contemplen todos los aspectos relacionados con la empresa. No es suficiente conseguir disponibilidades altas o costos bajos. Este control debe estar dirigido, a todos los aspectos, que de una u otra manera, efectúan el desarrollo de la empresa y están dirigidos a la obtención del máximo beneficio posible.

Se incrementan los costos financieros cuando se dispone de instalaciones, sistemas, máquinas o equipos duplicados, pero se reducen los costos por falla. Si se incrementa los costos de mantenimiento preventivo, las fallas reducirán su frecuencia y gravedad, por lo que también lo hará el costo de mantenimiento correctivo. El aumento de los costos del mantenimiento preventivo tiende a disminuir los del correctivo. Este tipo de de mantenimiento reduce su costo en la medida en que aumentan las máquinas y equipos que se deben controlar.

Es necesario establecer un equilibrio en los costos para llegar a un costo óptimo. La gestión propia de mantenimiento debe buscar el punto de menor costo y adecuar la aplicación de los distintos tipos de de mantenimiento para mantenerse en un punto óptimo.

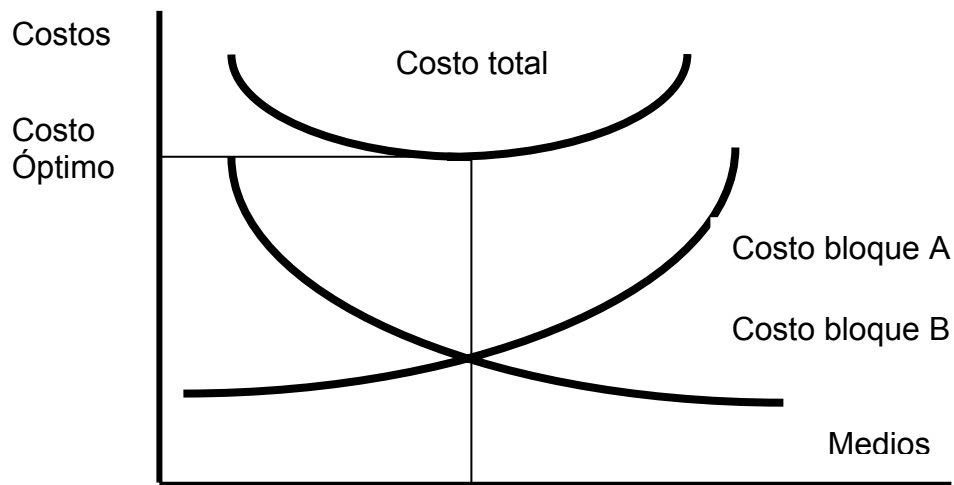
Para encontrar este costo óptimo se pueden desagregar sus componentes, realizar una tabla como la tabla 4 y graficarlos como en la figura 17 y de esta

forma encontrar el punto de menor valor sobre la curva de costos totales, este será entonces el costo óptimo o de equilibrio.

Tabla 4. Discriminación de Costos de mantenimiento

BLOQUE A	BLOQUE B
Mano de obra de mantenimiento preventivo	Mano de obra de mantenimiento correctivo
Mano de obra de mantenimiento programado	Repuestos para averías
Repuestos programados	
Mano de obra directa	Costo de fallo
Pinturas lubricantes	
Costos financieros	Costos energéticos
Parada para mantenimiento preventivo	Costos ambientales

Figura 17. Gráfica del costo óptimo de mantenimiento



Mantenimiento su Implementación y gestión

3.8 GESTIÓN DE ALMACEN

Generalmente el departamento de compras es el encargado de gestionar el almacén que suministra elementos a distintos sectores. Bajo el punto de vista de este departamento, se intentará tener un almacén con el mínimo valor posible, en tanto que el departamento de mantenimiento le interesa tener un almacén completo con todas las piezas y repuestos para realizar las distintas actividades de mantenimiento que pudiesen surgir. Esto traerá aparejado contar con un inventario elevado, surgiendo así una oposición de intereses entre los distintos sectores de una misma empresa.

Para gestionar el almacén, debemos tener presente los siguientes criterios:

- Tener un inventario mínimo sin movilizar en el almacén.
- Fijar un valor máximo de rotura de los inventarios.

3.8.1 Stocks. Se define como Stock aquella cantidad de materia prima, materiales y elementos en general que se almacenan, para su posterior empleo.

Este uso futuro puede destinarse a:

- Alimentación de una línea de producción
- Ventas por mayor y menor
- Mantenimiento de máquinas y equipos
- Abastecimientos de elementos de consumo desde un depósito central

En cualquiera de los casos sería necesario disponer de un gran capital y de hecho esto provoca escasez del mismo para efectuar otras inversiones, además de la necesidad de contar con grandes locales para almacenamiento, corriendo con el riesgo del deterioro del material u obsolescencia del mismo, y cargando además con los costos de mantenimiento del local y su amoblamiento.

Por lo tanto, es necesario analizar y encontrar un punto de equilibrio entre las desventajas ya mencionadas y las ventajas de tener artículos siempre que se los necesite a un costo menor de adquisición, no sólo por hacerlo en cantidad, sino también por los gastos directos que ocasiona el acto de comprar. Se advierte, en consecuencia, que las desventajas superan a las ventajas. Sin embargo, ¿Cómo

se efectúa el balance económico que permita conocer cuánto y cuándo se debe comprar? La teoría de los Stock da la respuesta a esta pregunta.

Elementos que intervienen en la teoría de los Stock:

✓ **Costo de adquisición o de compra.** El costo de adquisición o compra depende en general de:

- La elección de los proveedores a quienes solicita precios
- Consultas para averiguar si el proveedor posee el artículo en cuestión
- Confección de los pedidos de precios o elaboración del pliego de condiciones
- Envío de la correspondencia
- Recepción y estudio de cada propuesta
- Colocación de la orden de compra
- Seguimiento del proveedor para que cumpla lo establecido
- Recepción, inspección y control del material que envía el proveedor
- Trámites posteriores a la recepción
- Recepción de facturas de proveedores, verificación y seguimiento de documentos de inspección
- Sueldo de personal administrativo

La suma total de todos estos valores es el costo total de colocar una orden de compra y se representa por "**K**", si se colocan "**n**" órdenes de compras por año, el costo de adquisición será:

K = costo total de colocar una orden de compra

n = número de veces que se compra en el año o frecuencia de compra

Ca = costo de adquisición anual

$Ca = K * n$

Llamando:

D = demanda anual del artículo

q = cantidad o lote a comprar

Se tendrá:

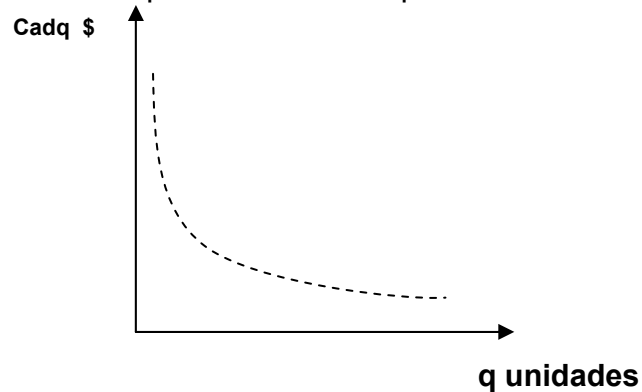
$n = D / q$, Reemplazando se obtiene:

$$Ca = K * D / q$$

En un sistema de ejes coordenados, en la abscisa se tiene como variable la cantidad o lote **q**, y en las ordenadas el costo de adquisición **Ca**; se tendrá que la

ecuación es la correspondiente a una hipérbola equilátera como se presenta en la figura 18.

Figura 18. Costo de adquisición o de compra



Mantenimiento su Implementación y Gestión

La constante K de adquisición se puede determinar en forma simplificada, considerando los costos mensuales del departamento compra y de las otras actividades relacionadas, importe que será prorrateado por la cantidad de órdenes realizadas en el mismo período. En la tabla 5 se registran los datos para un ejemplo.

Tabla 5. Datos para cálculo de costo de adquisición o compra

Tipo de costo	Valor \$
Sueldos con cargas sociales oficina compra	3000
Gastos de oficina compra (papelería, Te, Etc.	2000
Gastos de recepción y administración	2000
Total de gastos promedios por mes	7000

n = cantidad promedio de órdenes por mes: 35

$$K = Ca/ n$$

$$K = \$ 7000/ 35= \$ 200$$

- ✓ **Costo de almacenamiento.** El costo de almacenamiento de las existencias incluye todos los gastos que se ocasionan en la empresa por el hecho de

disponer de stocks. Por lo general estos costos están integrados por los siguientes elementos:

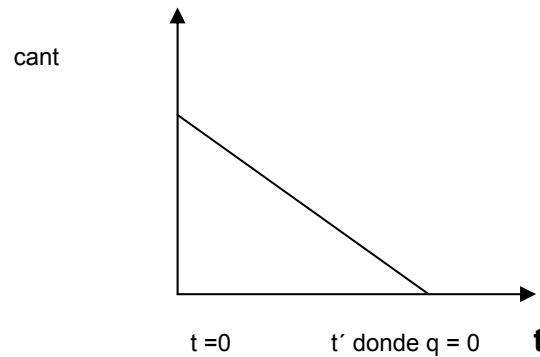
- **Tasa de capital:** los montos inmovilizados en stock, aún cuando no provengan de un préstamo bancario, están gravados por una tasa denominada “costo de oportunidad”.
- **Obsolescencia:** son los costos en que incurre la empresa debido a que algunas existencias pierden actualidad por los cambios de modelo o avances tecnológicos.
- **Pérdidas:** los materiales almacenados sufren mermas y deterioros por evaporación, humedad, suciedad y otros efectos.
- **Impuestos:** los elementos almacenados son activos gravados por impuestos relacionados a la inversión.
- **Seguros:** los stocks al igual que otros bienes de la industria deben estar cubiertos por seguros contra diversos tipos de riesgos.
- **Edificación e instalaciones:** requeridas por las existencias.
- **Personal:** destinado al depósito o almacén.

La suma de estos gastos determina una tasa anual de almacenaje que representa lo que cuesta tener en stock un peso material almacenado durante un año, se identifica como:

P = tasa de almacenamiento

Se lo expresa en porcentaje y varía según el tipo de material y el cuidado requerido. Los valores que las empresas toman para la tasa de mercaderías convencionales varían alrededor del 20 por ciento anual. En algunas oportunidades coinciden con los grupos de igual costo de adquisición, algunas materias primas como chapas, barras o tubos pueden tener los mismos K_a y P , lo que facilita su estudio. En la figura 19 se representa la existencia promedio $\frac{1}{2} q$.

Figura 19. Existencia promedio $\frac{1}{2} q$



Mantenimiento su Implementación y Gestión

Se puede considerar que en cualquier período la cantidad promedio es $q/2$. Si “b” es el valor unitario del material en existencia, el capital inmovilizado será:

$$\text{Capital Inmovilizado} = \frac{1}{2} q b$$

Conocida la tasa anual de almacenamiento (P), es posible calcular el costo de almacenamiento (Calm) en función del precio del artículo (b), cantidad que se mantiene en stock (q), y tiempo (T).

$$\text{Calm} = (1/2) * q * b * p$$

En donde:

q = cantidad o lote a almacenar

b = valor unitario del material

p = tasa de almacenaje

3.8.2 Cálculo del costo total esperado (CTE). El costo total esperado es una suma de tres términos: uno constante y dos variables.

Los costos variables son los que se han definido como costo de almacenamiento y costo de adquisición.

El costo constante es el producto del precio de compra del artículo por su demanda. Entonces siendo:

n: Número de veces que se compra
q: Lote de compra
b: Precio de compra del ítem
P = Tasa anual de almacenamiento
D = Demanda anual
CTE = Costo total esperado

Se tendrá que:

$$\text{CTE} = K * D/q + \frac{1}{2} q * b * P + b * D$$

El producto $b * D$ es el término constante y no se tendrá en cuenta en este análisis.

Entonces, la suma de términos variables es:

$$\text{Cte} = K * n + \frac{1}{2} q * b * P$$

3.8.3 Cálculo del lote económico. Cuando el material que se necesita es independiente de otros artículos o subconjuntos, se lo denomina independiente y se utiliza el método clásico de gestión de inventarios.

Cuando las pérdidas de material están relacionadas entre sí, la gestión es dependiente, y las cantidades requeridas se obtienen directamente del Programa Maestro de Producción, determinado por sistemas como un sistema de Planificación de Necesidad de Materiales.

El método tradicional consiste en determinar la cantidad óptima del pedido en función al menor costo total y se lo denomina lote económico.

Recordando que:

D = demanda anual del artículo
K = costo de compra

n = frecuencia de compra/fabricación
q = can
p = tasa de almacenaje
b = costo unitario del artículo

Y según las expresiones

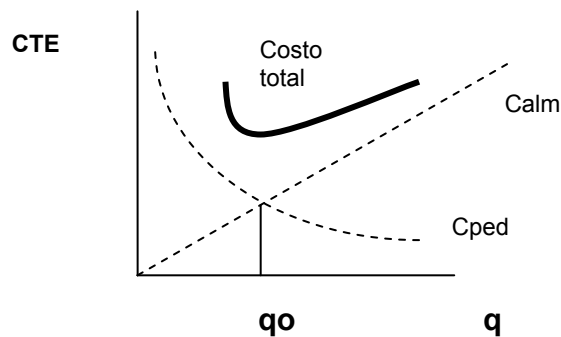
$$\text{Costo de adquisición } C_a = K \cdot D / q$$

$$\text{Costo de almacenaje} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot b \cdot P$$

$$C_{te} = C_a + C_{alm} = K \cdot D / q + \frac{1}{2} \cdot q \cdot b \cdot P$$

En la figura 20 se representa gráficamente el lote económico.

Figura 20. Gráfica del lote económico



Mantenimiento su Implementación y Gestión

La curva del coto total presenta un mínimo que corresponde al valor del Lote Económico o Lote Óptimo, este valor se encuentra a la altura de la intersección de las líneas que lo componen, el valor costo total es menor cuando los costos de pedido y almacenaje se igualan.

Entonces:

$$(1) \quad K \cdot D / q = \frac{1}{2} \cdot q \cdot b \cdot P$$

Es aconsejable efectuar pocas compras de un ítem, porque así se limitan los gastos derivados de las compras, pero además se sabe que es beneficioso efectuar un número elevado de adquisiciones dado que redundan en menor costo de almacenamiento.

La teoría del lote económico conduce a un equilibrio entre estas dos políticas contemplando los factores positivos de ambas.

Despejando q se de la fórmula (1) se obtiene la fórmula del lote óptimo o económico:

$$q_c = \sqrt{2 K D / b P}$$

Donde:

qe = lote económico

K = costo total de colocar una orden de compra

D = demanda anual de cada ítem

b = precio unitario de adquisición de cada ítem

P = tasa anual de almacenamiento

3.8.4 Determinación de las zonas de igual período de reposición. Ha quedado establecido anteriormente que, conocido el valor del lote económico (q_e), es posible calcular el período de reaprovisionamiento (n), por medio de la expresión:

$$n = D / q_e$$

Donde:

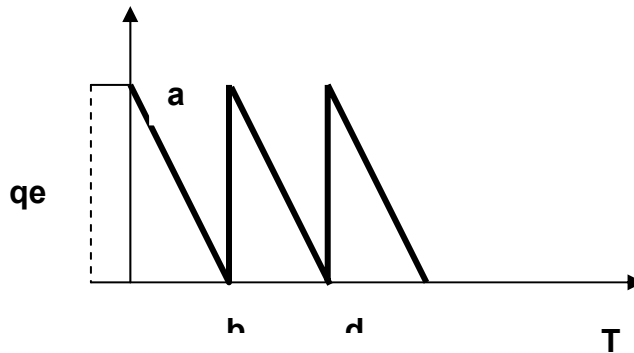
D = demanda

qe = lote económico

n = período de reaprovisionamiento

Hasta ahora el problema analizado se ilustra en la figura 21.

Figura 21. Gráfica del periodo de aprovisionamiento.



Mantenimiento su Implementación y gestión

Partiendo de una situación en la cual el stock es igual al q_e (punto a), se consume hasta $q = 0$ (punto b). En este momento se realiza el reaprovisionamiento instantáneo de una cantidad q_e y el stock se eleva hasta C, para volver a repetir el ciclo n veces.

Pero en realidad influyen sobre el esquema dos factores:

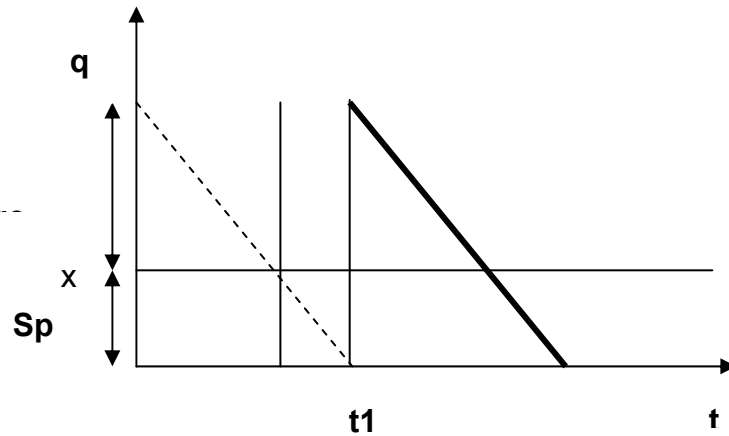
- Demora de reaprovisionamiento
- Consumo distinto del previsto

La demora de reaprovisionamiento x puede subdividirse en tres etapas:

- Tiempo que transcurre desde cuando se detecta la necesidad de efectuar la reposición hasta que el pedido llega al proveedor
- Tiempo que media desde que el proveedor recibe la orden de compra hasta que entrega el material.
- Tiempo que transcurre desde que el proveedor entrega el material hasta que llega a depósito.

Como el aprovisionamiento no es instantáneo se genera el problema que ocasiona la ruptura del stock. El diagrama real de stock toma la forma de la figura 22.

Figura 22. Diagrama real de stock.



Mantenimiento su Implementación y Gestión

En la figura citada se aprecia que el stock se ha incrementado en una cantidad S_p llamada “**stock de protección**”, que tiene por objeto absorber las variaciones producidas por el segundo factor.

Cuando el stock cae por abajo del nivel x se realiza un nuevo pedido, transcurre un tiempo t_1 ; es este el tiempo que se tiene calculado para realizar el aprovisionamiento. Entonces cuando el stock llega a cero, se tendría en ese momento un nuevo aprovisionamiento; este proceso se repite en forma consecutiva, debido a la existencia del stock de seguridad.

3.8.5 Determinación del stock de protección o de seguridad. Es conveniente calcular este stock en función de algún parámetro que permita asignar diversos valores a distintos ítems en función de su importancia. El stock de protección es un seguro para cubrir imprevistos y su importancia debe estar de acuerdo con la del ítem.

La fórmula para determinar el stock es la siguiente:

$$S_p = H \sqrt{c * d}$$

Donde:

H = factor que depende del riesgo que se asume y es función de:

- Costo de paralización de líneas
- Eficiencia de la inspección
- Calidad final del producto
- Comportamiento del proveedor
- Agotamientos admitidos, etc.

c = consumo diario

d = demora de reaprovisionamiento

El factor H depende también de las frecuencias de pedidos, lo cual permite construir otra tabla que suministra valores de H al igual que la anterior, pero si se trabaja con dichas frecuencias de compra, se evita determinar el riesgo en forma arbitraria. Para ello es necesario fijar la orientación de la empresa en cuanto a lo que de agotamientos permitidos se refiere, creando una política aplicada a artículos muy importantes o críticos, cuya carencia ocasionaría grandes perjuicios como parada de línea, pérdida de clientes, etc.

3.8.6 Diagrama ABC. El diagrama ABC es una representación gráfica de un hecho, es una relación entre la cantidad de artículos que componen un inventario, con su consumo anual y su costo unitario y permite determinar cuáles son los artículos verdaderamente representativos en función de la inversión total a efectuar.

Los elementos necesarios para la construcción de un diagrama ABC son:

- Lista de todos los artículos que se consumen.
- Precio unitario de adquisición de cada ítem.
- Demanda anual de cada ítem. Esta estimación pueda llevarse a cabo partiendo de los consumos anteriores o con base en la producción o venta estimada para el corriente año en base a datos estadísticos oficiales.
- Monto total del capital invertido anualmente.

- Determinación de los consumos o demandas anuales valorizadas, se obtiene multiplicando el precio de cada ítem por su demanda anual.

- Listado según orden decreciente, colocando en primer lugar el artículo cuya demanda actual valorizada (producto de $b * D$) sea máxima. Se continúa con el elemento que le sigue, según este criterio, y se suma al valor anterior,

obteniendo la suma acumulada, hasta llegar al artículo de menor demanda anual valorizada, la suma deberá ser, para ese artículo igual al monto total invertido.

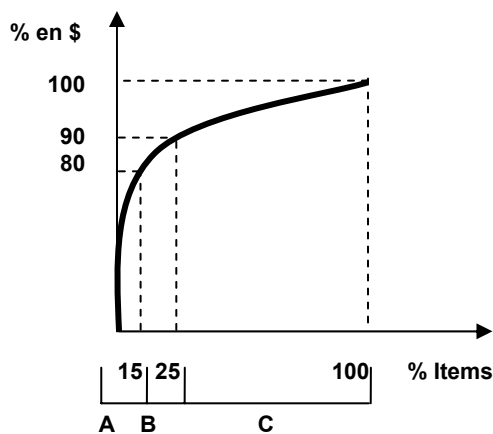
- Determinación de las zonas ABC, se considera que en general el 85% del monto invertido está controlado aproximadamente por el 10 o el 15 % de los ítems del inventario. De modo que controlando el 15 % de los artículos, se puede apreciar el correcto desembolso de aproximadamente el 85 % del monto total.

Los ítems que caen dentro de esta categoría son llamados “ítems de clase A”.

Si se prosigue el análisis y se calcula el 90 % del monto invertido se comprobará que sólo el 25 % de los artículos del inventario son responsables de él. Estos son los “ítems de la clase B”.

Queda un 10 % del monto invertido, y esta pequeña parte está manejada por el 75% de los ítems. Estos son los llamados “ítems de clase C”. Se dibuja empleando un par de ejes coordenados, cuyas unidades son: cantidad o porcentaje de ítems y monto o porcentaje de monto. En la figura 23 se aprecia el esquema de un diagrama ABC.

Figura 23. Esquema ABC.

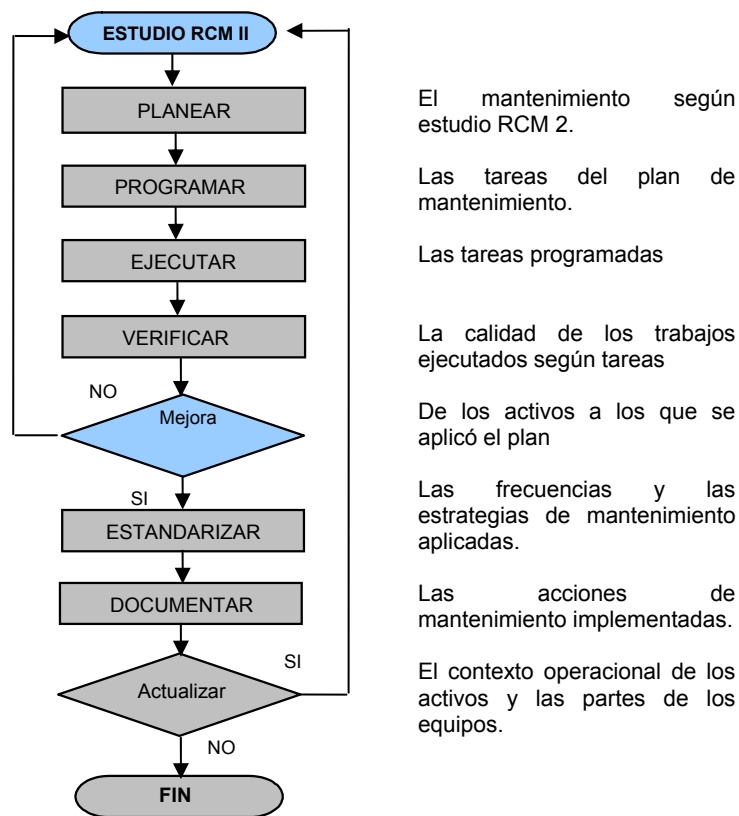


Mantenimiento su Implementación y Gestión

4. MODELO DE GESTIÓN PROPUESTO

El nuevo modelo de mantenimiento debe ser sencillo y funcional, enfocado en RCM 2 y el PHVA tal como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Modelo de gestión propuesto.



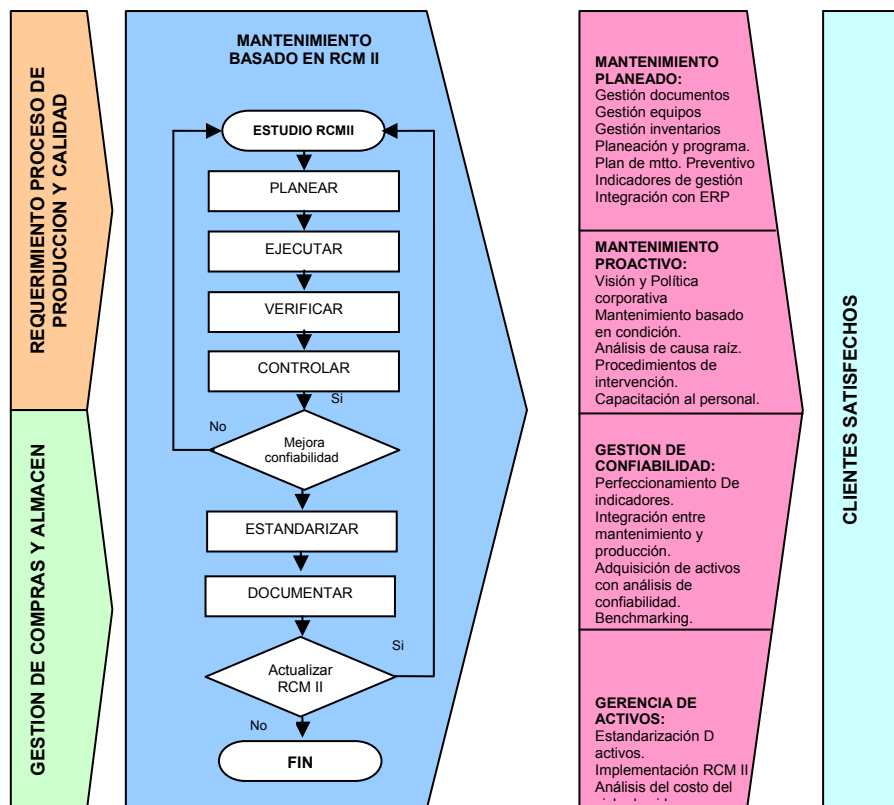
Todos los activos de producción de la compañía deben ser sometidos a un estudio RCM 2 con el fin de buscar la mejor estrategia para la implementación de un nuevo plan de mantenimiento. Las estrategias encontradas se planean, programan y ejecutan, buscando mejorar la confiabilidad de estos activos, que es donde se controla la efectividad del estudio RCM. Una vez se tenga esta primera fase se estandariza y se documenta con el fin de llevar un control estadístico y poder medir la gestión del mantenimiento. Este modelo contempla la posibilidad de

hacer una actualización del plan de mantenimiento, debido a los cambios que puedan surgir en el tiempo en cuanto al contexto operacional y a la posibilidad de cambios de equipos o partes de los mismos; inclusive con los cambios que puedan surgir en la teoría de RCM 2, lo que hace que el modelo sea dinámico y se pueda ajustar a las necesidades surgidas.

4.1 MAPA DE PROCESOS OPERATIVOS.

En la figura 25 se ilustra, como interactúa el modelo de gestión propuesto, con los procesos operativos, que son fundamentales para que la gestión de mantenimiento tenga los resultados de eficiencia y efectividad que la empresa necesita.

Figura 25. Mapa de procesos operativos con el nuevo modelo

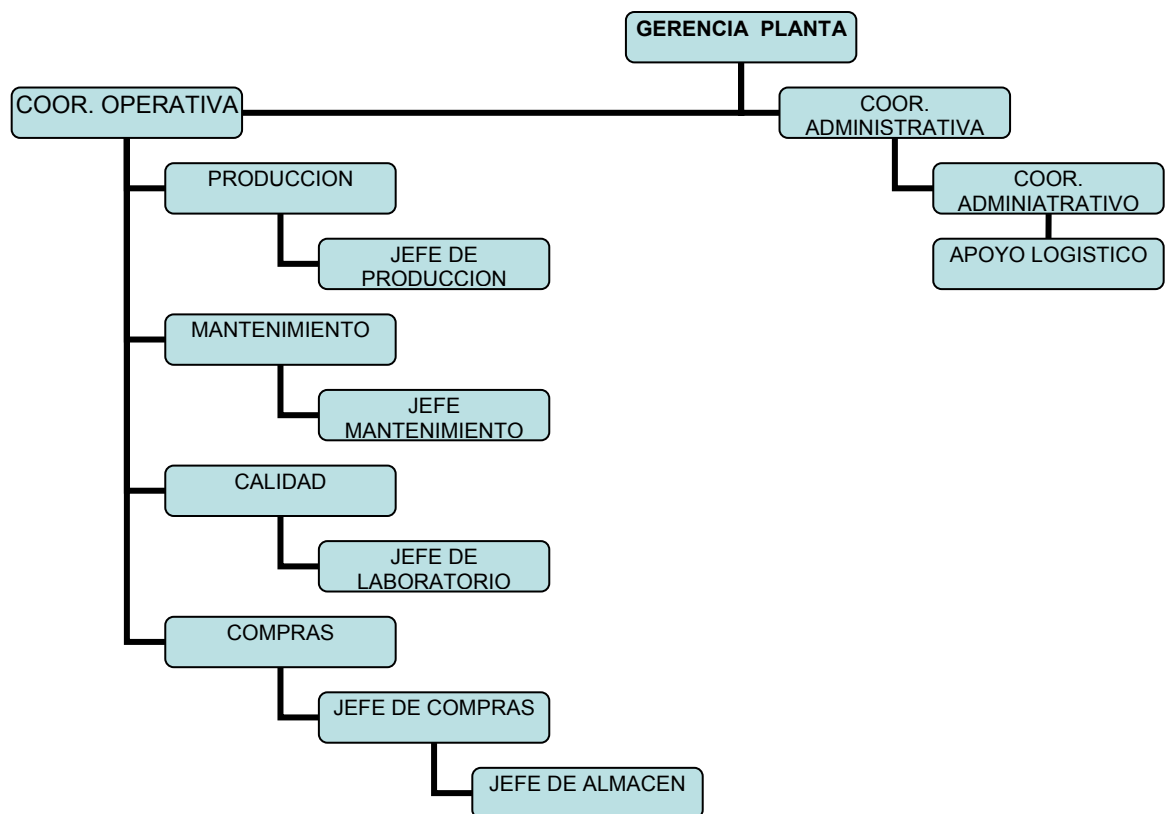


Con el modelo de gestión propuesto se busca mejorar, de una forma escalonada, donde RCM 2 sería el punto de partida para lograr los objetivos que se pretenden y que se muestran en el mapa de procesos como son:

- Mantenimiento planeado
- Mantenimiento proactivo
- Gestión de confiabilidad
- Gerencia de activos

Para llevar a cabo este proceso, se necesita también una estructura organizacional sencilla, que encaje con la actual y que se muestra en la siguiente figura.

Figura 26. Organigrama para la gestión con RCM 2.



4.2 ESTUDIO RCM 2 PARA EL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO

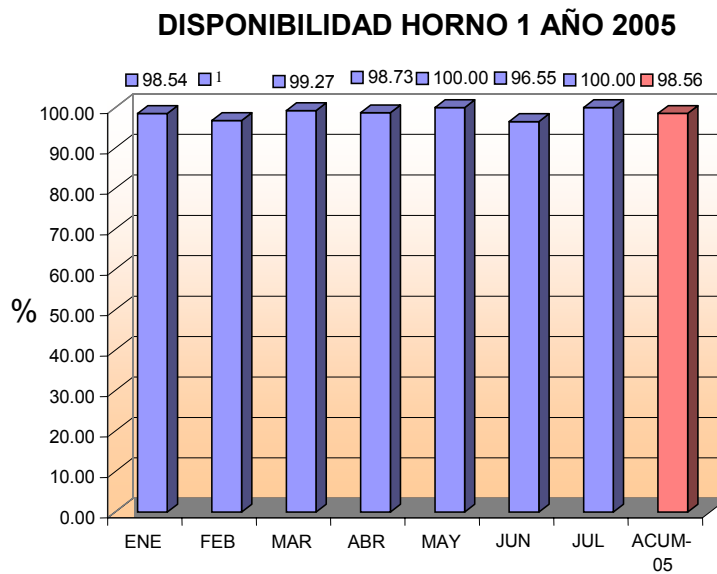
Con el fin de simplificar la implementación del programa RCM 2 en la planta de Cementos Andino de San Gil, se decidió hacer el estudio por procesos productivos, siguiendo metodológicamente los pasos necesarios para lograr el objetivo de todo estudio RCM 2, como es el de establecer las estrategias de mantenimiento, con base en las funciones de los equipos en su contexto operacional.

En este capítulo se describirá el contexto operacional del sistema de molienda de cemento y el diagrama funcional del mismo.

Antes de entrar en el estudio propiamente dicho, se debe hacer un estudio de indicadores de desempeño, con el fin establecer prioridades para la aplicación del estudio RCM a las áreas más afectadas por la indisponibilidad y el tiempo medio entre fallas.

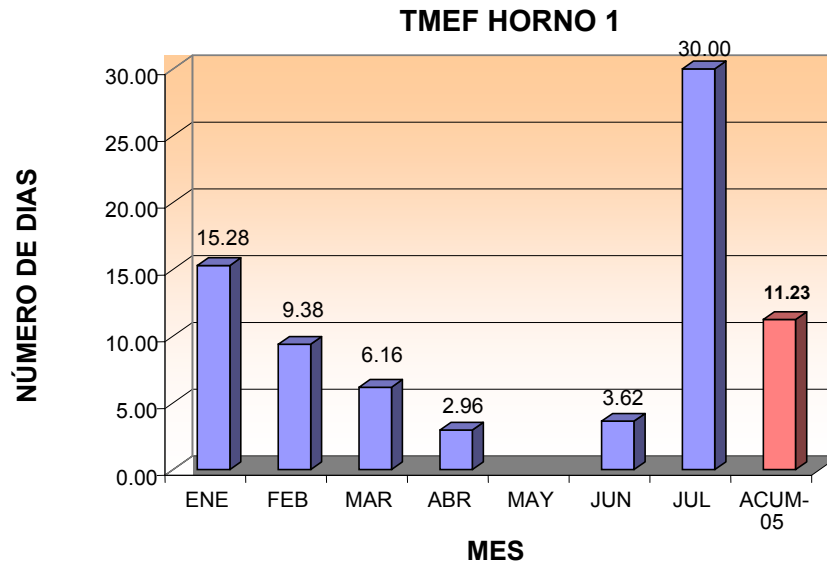
En las figuras 27 y 28 se presentan respectivamente los indicadores de gestión de disponibilidad y tiempo medio entre fallas del proceso horno 1.

Figura 27. Gráfica de disponibilidad proceso horno 1.



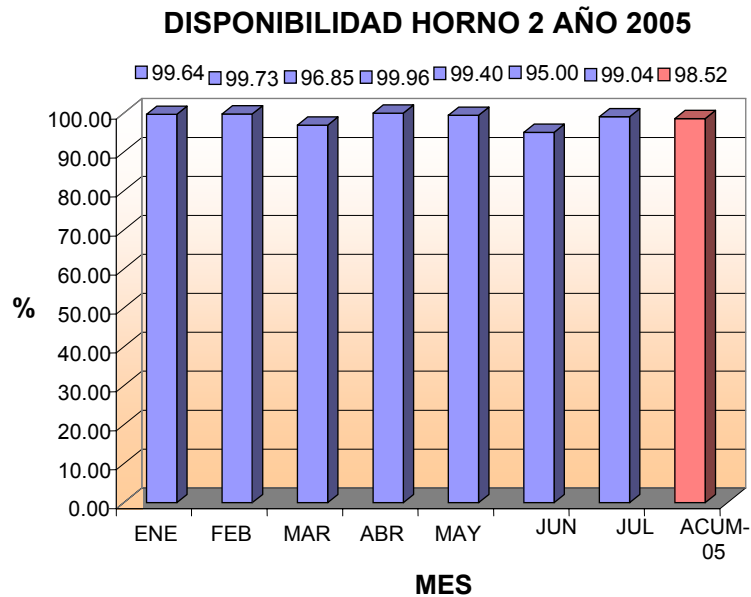
Proceso de Mantenimiento

Figura 28. Gráfica de Tiempo medio entre fallas proceso horno 1



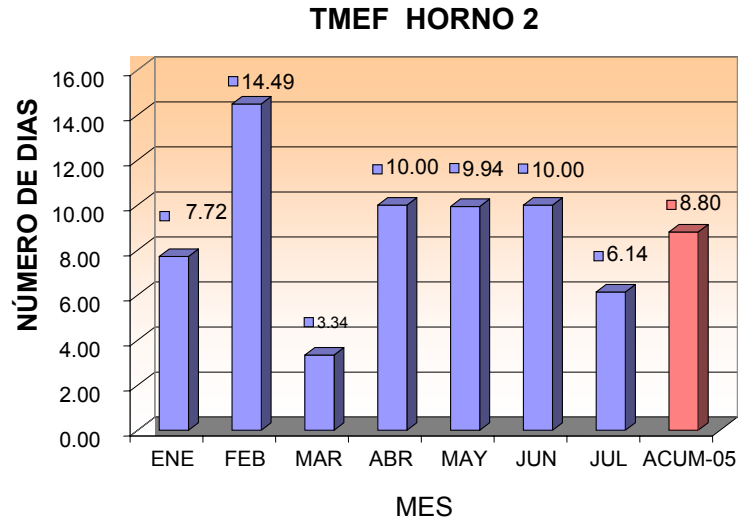
En las figuras 29 y 30 se presentan los indicadores de gestión de disponibilidad y tiempo medio entre fallas del proceso horno 2 respectivamente.

Figura 29. Gráfica de disponibilidad proceso horno 2



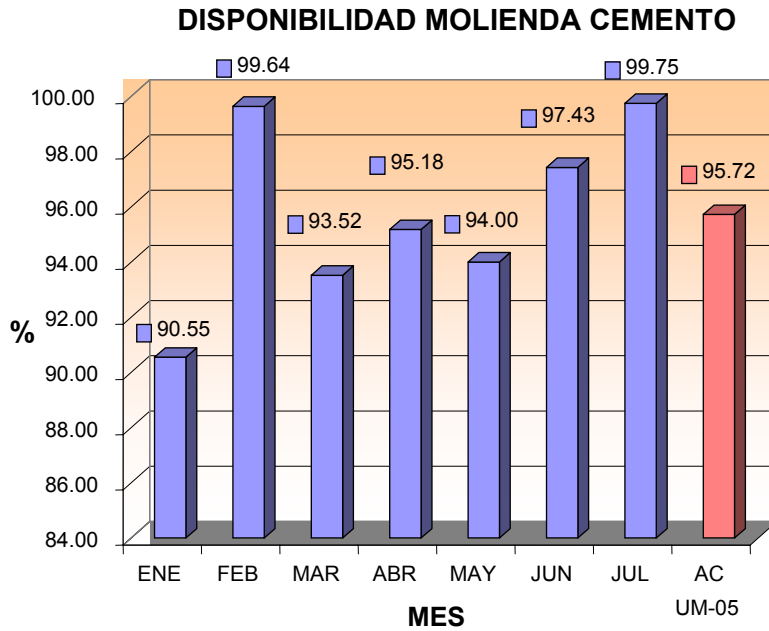
Proceso de mantenimiento

Figura 30. Gráfica de tiempo medio entre fallas proceso horno 2



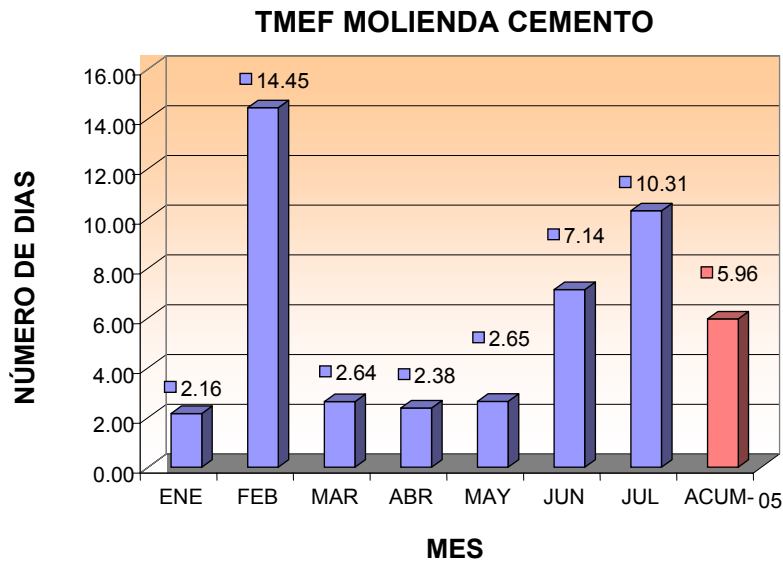
En las figuras 31 y 32 se presentan los indicadores de gestión de disponibilidad y tiempo medio entre fallas del proceso de molienda de cemento respectivamente.

Figura 31. Gráfica de disponibilidad del proceso molienda de cemento



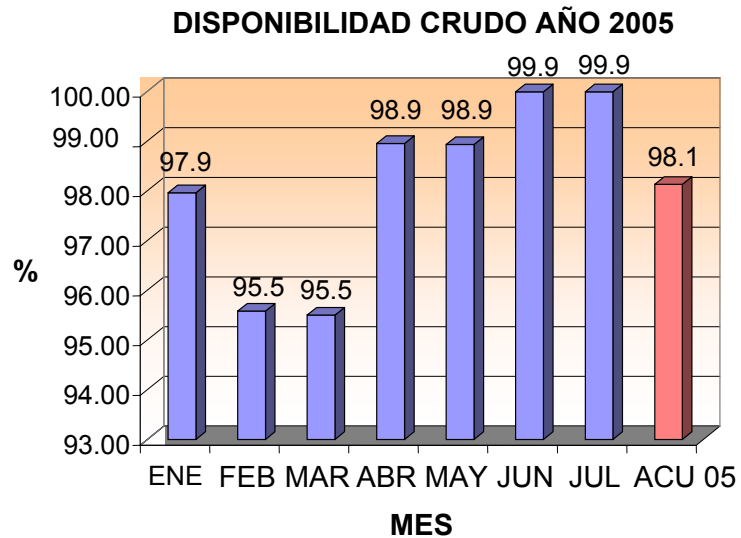
Proceso de mantenimiento

Figura 32. Gráfica de tiempo medio entre fallas proceso molienda de cemento.



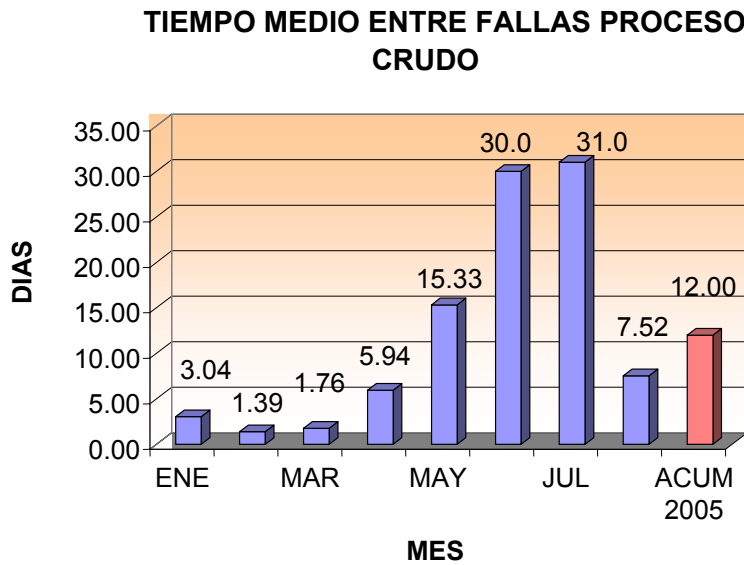
En las figuras 33 y 34 se presentan los indicadores de gestión de disponibilidad y tiempo medio entre fallas del proceso de molienda de crudo respectivamente.

Figura 33. Gráfica de disponibilidad de proceso de molienda de crudo



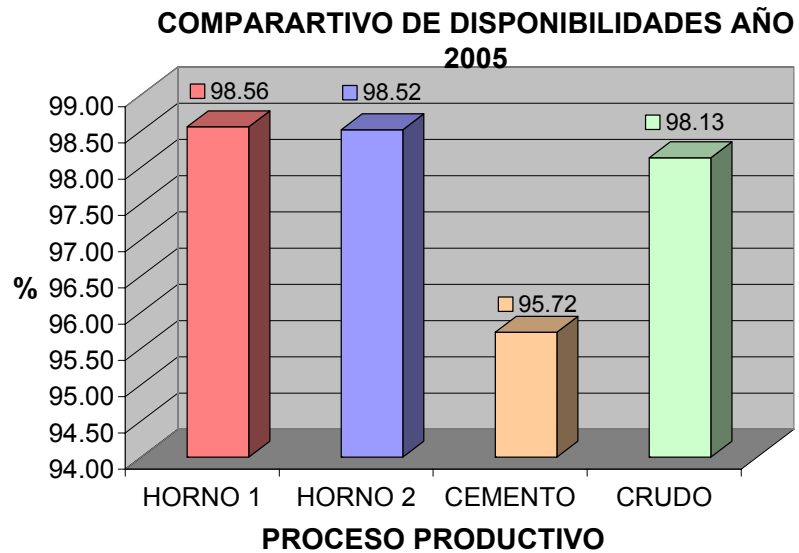
Proceso de mantenimiento

Figura 34. Gráfica de tiempo medio entre fallas proceso molienda de crudo



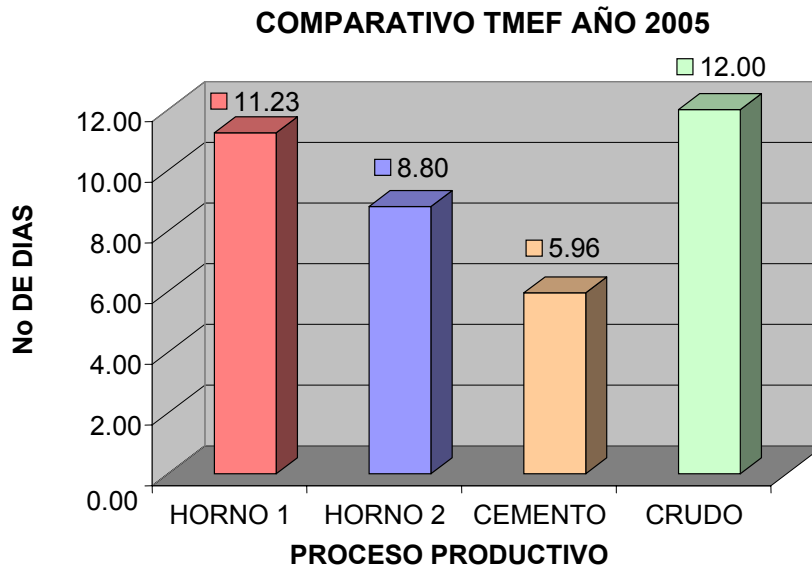
El las figuras 35 y 36 se muestran los comparativos de disponibilidad y tiempo medio entre fallas de los procesos ya mencionados respectivamente.

Figura 35. Comparativo de disponibilidades año 2005



Proceso de mantenimiento

Figura 36. Comparativo de tiempo medio entre fallas año 2005



Proceso de mantenimiento

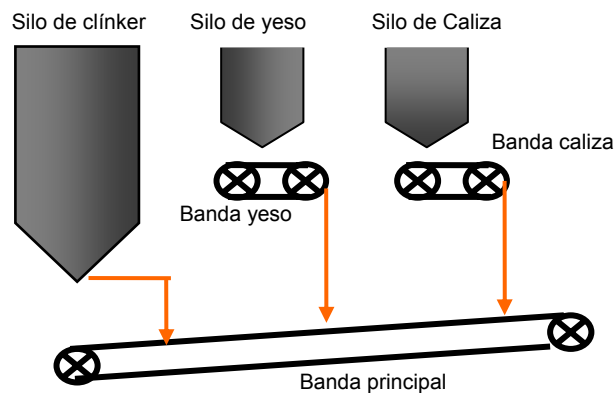
Según los resultados del análisis de los indicadores mostrados se decidió empezar el estudio RCM 2 por el proceso de molienda de cemento mostraron unos resultados que justifican hacer una mejora significativa que mejore los resultados de disponibilidad y tiempo medio entre fallas, acordes con las necesidades competitivas de la empresa.

4.3 APLICACIÓN DEL ESTUDIO RCM 2 AL PROCESO DE MOLIENDA DE CEMENTO

4.3.1 Contexto operacional. El proceso de molienda se inicia con la dosificación de clínker, yeso y caliza, (ver figura 30) triturados a una granulometría entre 0.3 y 0.7% de retención en malla 6, que es alimentada al molino de bolas Allis Chalmers. La escoria pulverizada es adicionada al elevador del separador, mediante el cual se incorpora al resto de la mezcla, para obtener cemento Pórtland tipo uno con una granulometría no mayor al 10% retenido en malla 325. Ver figura 37.

La dosificación de clínker, con una granulometría promedio de 0.5% retenido en malla 6 (3.36 mm), el cual se encuentra almacenado en un silo metálico de 218 toneladas, se hace a través de una banda transportadora de velocidad variable

Figura 37. Esquema del sistema dosificador de materiales a molino.



con capacidad de alimentar 10.5 Ton/hora, que regula la cantidad de clínker requerida para la formulación establecida de acuerdo con un punto de ajuste dado desde sala de control. Esta banda tiene una longitud de 8250 mm entre centros, tiene un tambor conductor con un diámetro de 216 mm, y un tambor conducido de igual diámetro los cuales están soportados por chumaceras referencia SNH 511609 y TU 511, los cuales giran a una velocidad variable dependiendo del punto de ajuste que se le asigne al variador de velocidad desde la sala central de operaciones. La cinta transportadora es del tipo ANL 125 Sin Fin de tres lonas, con un ancho de 600 mm y una longitud de 17200 mm, la cual esta soportada por 10 estaciones de rodillos de carga y 2 rodillos de retorno inferiores. La transmisión consta de moto reductor con velocidad de entrada de 1745 rpm, velocidad de salida de 90 rpm y potencia de 6.6 HP que entrega movimiento al piñón conductor tipo 80B20 que transmite el movimiento al piñón conducido tipo 80BX30. Todo el sistema de banda, rodillos y tambores están montados sobre una estructura en perfil U de 6 pulgadas.

La dosificación de yeso, con una granulometría de 0.7 % retenido en malla 6, almacenado en un silo metálico cilíndrico de base cónica con capacidad de 16 toneladas, se hace a través de una banda alimentadora de velocidad variable con capacidad máxima de 5 Ton/hr que regula la cantidad de Yeso requerido según la formulación establecida de acuerdo con un punto de ajuste dado desde sala de control. Esta banda tiene una longitud de 3460 mm entre centros, tiene un tambor conductor con un diámetro de 216 mm, y un tambor conducido de igual diámetro, están soportados por chumaceras referencia SNH511609 Y TU 511, los cuales giran a una velocidad variable dependiendo del punto de ajuste que se le asigne al variador de velocidad. La cinta transportadora es del tipo ANL 125 de tres lonas, con un ancho de 600 mm y una longitud de 8000 mm, la cual es soportada por 6

estaciones de rodillos de carga y 1 rodillo de retorno inferior. La transmisión consta de moto reductor con velocidad de entrada de 1745 rpm, velocidad de salida de 56 rpm y potencia de 6.6 HP, que entrega movimiento al piñón conductor tipo 100B15 que transmite el movimiento al piñón conducido tipo 100B50. Todo el sistema de banda, rodillos y tambores están montados sobre una estructura en perfil U de 6 pulgadas.

La dosificación de caliza, con una granulometría máxima de 0.5 % retenido en malla 6, la cual se encuentra almacenada en un silo metálico cilíndrico de base cónica con capacidad de 16 toneladas, se hace a través de una banda de velocidad variable con capacidad máxima de 5 ton/hr, que regula la cantidad de caliza requerida para la formulación establecida de acuerdo con un punto de ajuste definido desde sala de control. Esta banda pesadora tiene una longitud de 3460 mm entre centros, tiene un tambor conductor con un diámetro de 216 mm, y un tambor conducido de igual diámetro, montados sobre ejes soportados por chumaceras referencia SNH511609 Y TU511, los cuales giran a una velocidad variable dependiendo del punto de ajuste que se le asigne al variador de velocidad desde COP.

La cinta transportadora es del tipo ANL 125 de Tres lonas, con un ancho de 600 mm y una longitud de 8000 mm, la cual se soporta por 6 estaciones de rodillos de carga y un rodillo de retorno inferior. La transmisión consta de moto reductor con velocidad de entrada de 1745 rpm, velocidad de salida de 56 rpm y potencia de 6.6 HP que entrega movimiento al piñón conductor tipo 100B15 que transmite el movimiento al piñón conducido tipo 100B50. Todo el sistema de banda, rodillos y tambores están montados sobre una estructura en perfil U de 6 pulgadas.

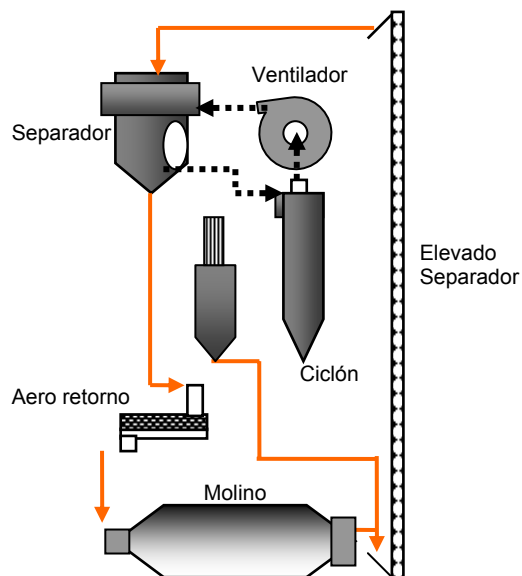
La Adición de escoria pulverizada, con una granulometría máximo de 25 % malla 325, se hace desde un silo metálico cilíndrico de base cónica, de 6 toneladas de capacidad con un sistema de despolvado de filtro de chorro pulsante, por medio de una esclusa rotativa con motor Jaula de Ardilla de 440V con potencia de 1.8 Hp y 1420 RPM, de velocidad variable con una capacidad máxima de entrega de 3 ton/hora que descarga el material a una placa de impacto marca RAMSEY con capacidad máxima de 5 ton /hora que censa la cantidad de escoria requerida de acuerdo con la formulación establecida y es incorporada en el proceso a través del elevador de cangilones que alimenta al separador dinámico del sistema.

La dosificación de los materiales, a saber clinker, yeso y caliza, se realiza por medio de una banda principal que recoge lo dosificado por las bandas mencionadas anteriormente, variando la velocidad de las bandas desde sala de control (COP) previa verificación de los tiempos, tomados por el paso de una

sección de longitud definida de banda entre dos puntos de referencia previamente establecidas; para el caso del clinker se toma el tiempo que demora un (1) metro de banda, en caliza y yeso se utiliza como referencia 0.5 metros. Para el logro de este objetivo se calibran los faldones y se dejan en un punto fijo y se determina el peso por metro de banda. Teniendo estos valores (tiempo por longitud de banda y el peso contenido) y conocida la formulación requerida, se recalculan las velocidades, se realiza la corrección y se vuelve a tomar el tiempo de cada banda. Para el caso de la dosificación de Escoria se toma el peso de material que pasa por la esclusa y placa en 5 segundos y se calcula contra el requerido por formulación, las correcciones a la cantidad de este material se realizan desde la alimentación del molino de escoria.

El molino de bolas gira a una velocidad de 23 rpm, y sobre él va montada una catalina helicoidal de 241 dientes, que es movida por un Piñón helicoidal de 23 dientes el cual gira a una velocidad de 240 rpm. Este piñón está montado sobre un eje de Acero SAE 4337 con longitud de 1641 mm desde el acople a chumacera, soportado a su vez por dos chumaceras referencia SN532 y rodamiento 22232 CCK/W33, conectado por acople rígido a otro eje, que a su vez está montado sobre una chumacera referencia SD3138 y rodamiento 23138 SKW/33 y el cual está acoplado a un embrague magnético que recibe corriente DC a través de dos anillos rozantes montados sobre el eje del motor. En la figura 38 se representa el sistema de molino y separación.

Figura 38. Esquema sistema molino y separador



El accionamiento del eje de transmisión se realiza por medio de un motor sincrónico de anillos rozantes de 350 HP a un voltaje de 4150 voltios, que gira a una velocidad de 241 RPM. cuyo eje está acoplado a la parte libre del embrague magnético, que al ser accionado por un voltaje de 110 voltios DC, hace que la parte móvil del embrague entre en contacto con la parte fija, la cual hace el arrastre por medio de discos de asbesto que transmiten el movimiento a la parte fija del acople, haciendo girar el molino. El molino, esta conformado por un cilindro de acero de 2050 mm de diámetro y una longitud de 9240 mm el cual está soportado por dos chumaceras de babit tanto en la parte de entrada como de salida, las cuales son lubricadas con aceite Nuray 320 a través de un sistema de cucharas levantadoras de aceite que auto lubrican el cuello. Sobre estas chumaceras van soportados los muñones que sirven de apoyo para el giro del molino y que a su vez sirven para la entrada y la salida del material alimentado. Estos cuellos tienen un diámetro de 857 mm y poseen espirales internos a modo de transportador sin fin, de flujo de entrada y salida, para la alimentación y evacuación del material.

El molino esta dividido en dos cámaras por un tamiz de descarga central. En la primera cámara, con una longitud de 2970 mm, se realiza la trituración y reducción el tamaño de la mezcla alimentada hasta un máximo de 3 % retenido en malla 40 (0.45 mm). Esta cámara esta cargada con 11 toneladas de cuerpos moledores distribuidos en 60 % de 60 mm y 40 % de 40 mm; igualmente la primera cámara esta recubierta con placas levantadoras fabricadas en acero al manganeso ASTM 128 grado C que protegen el casco del molino contra los impactos directos de las bolas, estas placas están soportadas con barras fabricadas en acero al manganeso ASTM 128 grado C, atornilladas al casco del molino y sirven como levantadores de las bolas para efectuar una cascada que permita una molienda mas efectiva. A la entrada del molino existen unas placas o culatas que sirven de protección de la tapa sobre la que va soportado el cuello de entrada. Estas culatas están fabricadas en acero al manganeso ASTM 128 grado C.

El tamiz intermedio de descarga central esta fabricado en acero de alto cromo y está conformado por dos paneles de placas unidas por tornillos de 1 pulgada de diámetro. El panel que da contra la primera cámara posee unas ranuras de 6 mm de abertura, y que representan el 30 % de área libre del tamiz. A su vez el panel que da contra la segunda cámara no tiene perforaciones haciendo que el material se descargue desde la primera cámara hacia la segunda, por la descarga central del tamiz. Entre los dos paneles existen unos encausadores helicoidales (Caracol Central, que permiten dirigir el material hacía la descarga central).

La segunda cámara, con una longitud de 4950 mm, esta cargada con 17 toneladas de cuerpos moledores distribuidos en 50 % de 30 mm y 50% de 20 mm de diámetro. En esta cámara se realiza la molienda final en donde el material alcanza una granulometría que varía entre 9.5 % y 10.5 % retenido en malla 325. Esta cámara esta recubierta igualmente con placas tipo **drapet** fabricadas en acero al manganeso ASTM 128 grado C. A la salida de la cámara existe un tamiz ranurado que controla la salida del material grueso y cuerpos moledores hacia el cuello de evacuación. Este tamiz esta fabricado en acero al manganeso ASTM 128 grado C. Al cuello de salida del molino va instalado un tamiz cilíndrico perforado que gira con el molino y que evita la salida de partículas mayores a 6 mm hacia el elevador del separador.

La obtención de un producto deseado a una granulometría y Blaine específicos se realiza gracias a la contribución los siguientes factores:

- El tiro del molino, el cual se realiza a través del molino gracias a la ayuda de un ventilador de tiro de capacidad 12000 m³/h con motor de 30 HP a una velocidad de 1700 rpm, conectado a un filtro de 90 mangas fabricadas en poliacril. La regulación de este se realiza a través de un ventilador de tiro de velocidad variable (variador), con lo cual se logra aumentar o disminuir la velocidad del aire y su carga dentro de la cámara y el Tamiz central. Un aumento en el tiro implica necesariamente una disminución en el tiempo de residencia del material, aumento de la granulometría del producto final y mayor producción (arrastre de material grueso)

Una vez el cemento sale del molino entra en una cámara metálica conectada al aire de barrido del filtro de mangas; el sello de la cámara se logra con una esclusa en la parte inferior de esta. El material grueso pasa a un elevador de canchales para ser llevado al proceso de separación de alta eficiencia. Esta cámara posee un sello de felpa, que evita la entrada de aire falso a la corriente de barrido del molino.

- Separador de Alta Eficiencia, el elevador a separador, posee 120 canchales fabricados en lámina HR de 1/8 reforzados en platina de 3 /16 las cuales están unidos por 240 cadenas eslabonadas fabricadas en acero templado y 240 bridas fabricadas en el mismo material. El tren de canchales, cadenas y bridas va montado sobre un tambor ranurado superior e inferior de acero SAE 4140, montados a su vez sobre ejes de 2 ½ pulgadas de acero 1045. El tambor superior gira sobre chumaceras tipo SN 515 y el tambor inferior gira sobre bujes de acero 8620 al cromo duro, que van montados sobre cubos

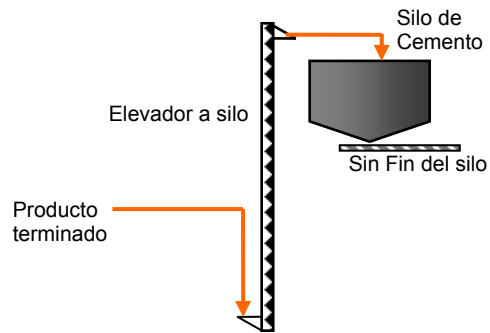
rectangulares de hierro gris que a su vez sirven de contrapesas. El cuerpo del elevador está fabricado en lámina HR de 3/16 y una tapa superior conectada a la salida del cemento hacia los aerodeslizadores que llevan el cemento hasta el separador de alta eficiencia. La transmisión del elevador consta de moto reductor y piñón cadena. El moto reductor que mueve los tambores es de 12 caballos de potencia, con una salida de 90 rpm, que entrega movimiento al piñón conductor 100 B 30 que transmite el movimiento al piñón conducido tipo 100 B 30 por medio de cadena No 100 el cual hace girar el tambor superior a una velocidad de 90 rpm.

El cemento sale del elevador, y es transportado al separador por medio de un aerodeslizador con una capacidad de 10 t/h, y alimenta a una olla de distribución que divide el flujo en dos aerodeslizadores; posteriormente alimentan las dos entradas del separador en la parte superior del mismo. Estos aerodeslizadores funcionan con aire, el cual es suministrado por un ventilador de 1500 CFM a una presión de 40 pulgadas columna de agua. Este ventilador es centrífugo y gira accionado por un motor jaula de ardilla de 18 HP a una velocidad de 3600 rpm. El aire de fluidización es transportado por una tubería de PVC de alta presión de 2 ½ pulgadas de diámetro. Los aerodeslizadores tienen una inclinación de 12 grados.

Una vez el cemento entra al separador, éste realiza la función de separar las partículas menores de 10 % retenido en malla 325, las cuales son captadas por un ciclón conectado al aire de recirculación, y enviadas al elevador del silo de cemento a través de un bajante conectado a la parte inferior del mismo. Las partículas mayores a esta granulometría, son devueltas al molino, transportadas por un aerodeslizador con capacidad de 30 t/h, el cual vuelve a incorporar el cemento grueso a un nuevo ciclo de molienda. El separador es accionado con un motor de 24 HP y su velocidad varía de acuerdo con el punto de ajuste que se requiera para su operación. Para la separación es necesaria una corriente de aire recirculante de 1500 m³/hora, suministrada por un ventilador centrífugo, a través de una tubería conectada a la entrada del espiral del separador y a la salida del mismo. El ventilador es accionado por un motor jaula de ardilla de 75 HP que gira a una velocidad de 1750 rpm.

El elevador del silo de cemento posee 120 cangilones fabricados en lámina HR de 1/8 reforzados en platina de 3 /16 las cuales están unidos por 240 cadenas fabricadas en acero templado y 240 bridas fabricadas en el mismo material. En la figura 39 se representa el sistema de elevador y silo de cemento.

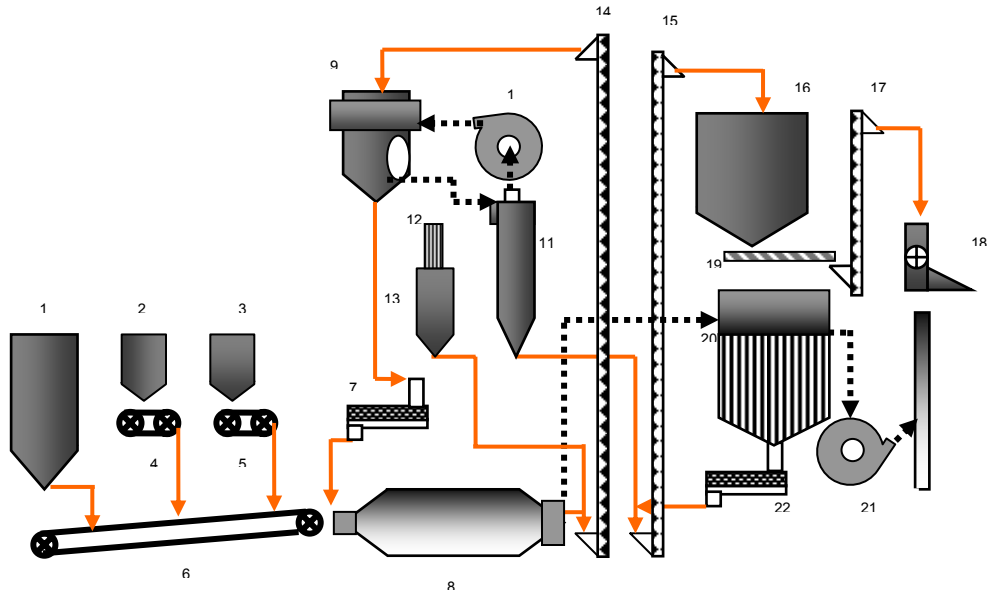
Figura 39. Esquema del sistema de elevador a silo de cemento



El tren de cangilones, cadenas y bridas va montado sobre un tambor ranurado superior e inferior de acero SAE 4140, montados a su vez sobre ejes de 2 ½ pulgadas de acero 10 45. El tambor superior gira sobre chumaceras tipo SN 515 y el tambor inferior gira sobre bujes de acero 8620 cementado y cromados, que van montados sobre cubos rectangulares de hierro gris que a su vez sirven de contrapesas. El cuerpo del elevador está fabricado en lámina HR de 3/16 y una tapa superior conectada a la salida del cemento hacia el silo. La transmisión del elevador consta de moto reductor y piñón cadena. El motor es de jaula de ardilla de 12 HP con velocidad de salida de 90 rpm, que entrega movimiento al piñón conductor tipo 100 B 18 que transmite el movimiento al piñón conducido tipo 100 B 24, por medio de cadena No 100 el cual hace girar el tambor superior a una velocidad de 67 rpm. El cemento es depositado por este elevador a un silo de 190 toneladas de capacidad. El silo tiene en su parte inferior un sinfín que transporta el cemento hasta el elevador de la empacadora. Este sin fin es accionado por un moto reductor de 6.6 HP con una transmisión de Piñón cadena. En la figura 33 se representa el sistema general para la molienda de cemento. El sistema de molienda de cemento cuenta con un filtro de mangas tipo chorro pulsante, que está conectado a un ventilador con una capacidad de 12000 m³/hora que suministra el aire de barrido del molino. Este filtro posee 90 mangas de poliacril de 150 mm de diámetro y 3000 mm de longitud, montadas sobre canastillas de alambre electro soldado.

La limpieza del filtro se realiza por medio de disparos de aire comprimido a 90 PSI, el cual es inyectado a las mangas por medio de flautas, que disparan según la secuencia que ordene el controlador para este efecto. Este controlador es de tipo análogo y está provisto de un indicador de presión del ventilador y un indicador de presión diferencial. En la figura 40 se muestra un diagrama de flujo de todo el sistema de molienda de cemento.

Figura 40. Diagrama de flujo del sistema de molienda de cemento.



- | | | | |
|-----|------------------------------|-----|---------------------------|
| 1. | Silo de clinker | 12. | Filtro del silo escoria |
| 2. | Silo de yeso | 13. | Silo de escoria |
| 3. | Silo de caliza | 14. | Elevador del separador |
| 4. | Dosificadora de yeso | 15. | Elevador a silo |
| 5. | Dosificadora de caliza | 16. | Silo de cemento |
| 6. | Dosificador de clinker | 17. | Elevador a empaque |
| 7. | Aerodeslizador de retorno | 18. | Empacadora |
| 8. | Molino de Cemento | 19. | Sin fin del silo |
| 9. | Separador de alta eficiencia | 20. | Filtro del molino |
| 10. | Ventilador de recirculación | 21. | Ventilador del filtro |
| 11. | Ciclón colector | 22. | Aerodeslizador del filtro |

El aire comprimido es suministrado por una red conectada a los compresores Sullair e Ingersoll Rand, que suministra el aire necesario en un tanque montado sobre el filtro. Sobre este tanque van montadas las válvulas tipo diafragma que están conectadas a cada múltiple, para realizar el disparo cuando reciben la señal del controlador.

El cemento que sale del filtro lo hace a través de una esclusa montada en el cono inferior del filtro, y es transportado por un aerodeslizador hacia el elevador del silo.

Los requerimientos de emisión máxima de partículas a la atmósfera establecidos son de 100 micro gramos / m³.

4.3.2 Diagrama funcional de bloques del proceso de molienda de cemento.

Se realizó un diagrama funcional de bloques con el fin de visualizar el proceso de producción de cemento desde el punto de vista de las funciones individuales de los equipos que intervienen en el.

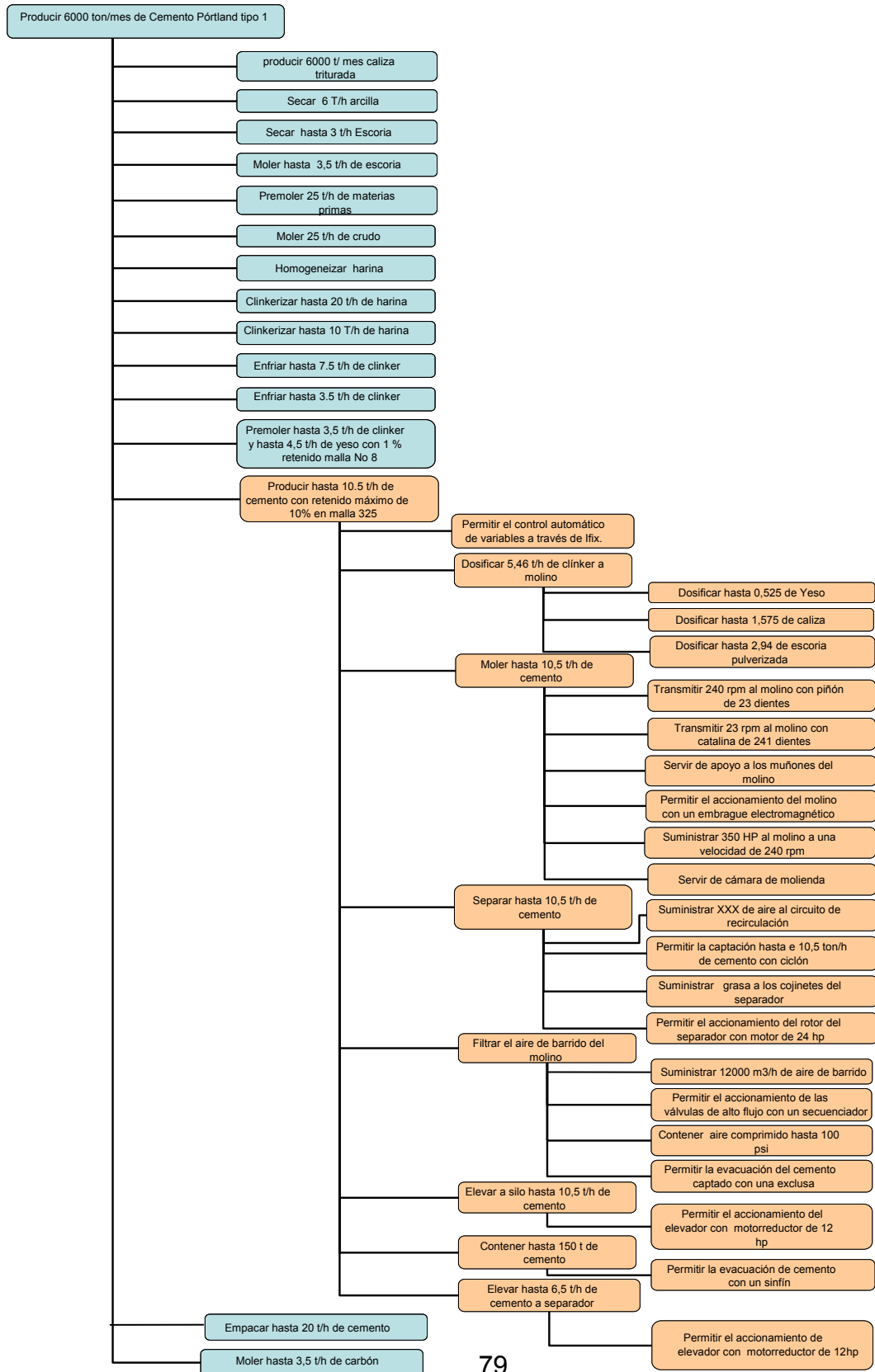
Un diagrama funcional de bloques se puede definir como una representación en el nivel más alto de las funciones que principales que realiza un sistema. En este diagrama de bloques se tuvo en cuenta todo el proceso de producción con todos los centros productivos con el fin de facilitar el estudio RCM 2.

En la figura 41 se ilustra el diagrama funcional de bloques propio de la planta de Cementos Andino San Gil, en el cual se muestra todo el proceso, iniciando con la explotación minera y terminando con el cemento empacado, indicando claramente el límite del sistema o proceso productivo de molienda de cemento.

También se ve la selección del proceso productivo de molienda de cemento, con su respectiva discriminación de subprocesos, con cada una de las funciones principales y algunas secundarias que desempeñan cada uno de ellos.

En el siguiente capítulo se hace un resumen de la aplicación del AMEF al proceso de molienda de cemento, allí se hace un desglose de cada equipo con sus partes principales con el fin de entender mejor a que corresponde cada función, falla funcional y modo de falla.

Figura 41. Diagrama funcional de bloques planta cementos Andino San Gil.



5. APLICACIÓN DEL AMFE AL SISTEMA PARA MOLIENDA CEMENTO

En el estudio de AMFE realizado para el sistema de molienda de cemento se obtuvieron los siguientes resultados:

- 8 Equipos de transporte (bandas, elevadores y aerodeslizadores)
- 4 Silos de almacenamiento
- 1 Molino horizontal de bolas
- 1 Separador de alta eficiencia
- 3 Filtros de mangas tipo Pulse Jet
- 2 Esclusas
- 5 Ventiladores centrífugos
- 7 Moto reductores eléctricos
- 1 Motor sincrónico y 5 motores jaula de ardilla
- 1 Sistema de control

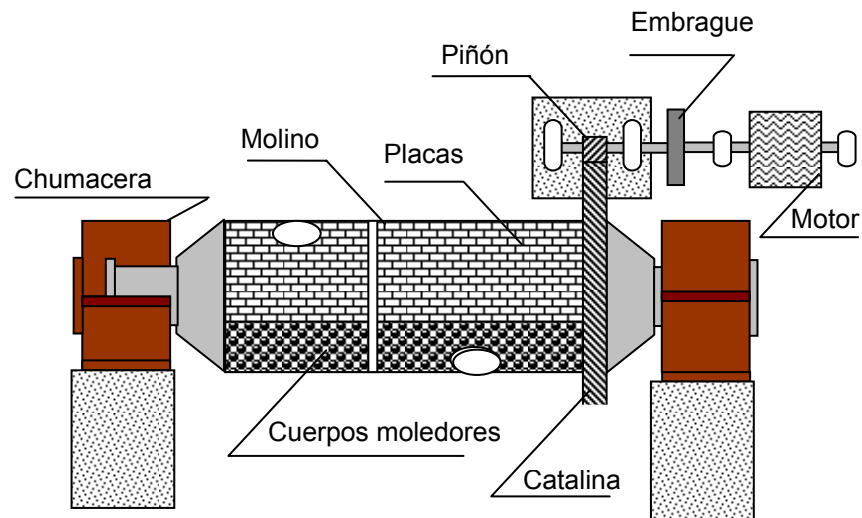
Para el sistema de molienda de cemento se obtuvieron los siguientes resultados en el AMEF: Ver anexo A

- 1 función principal
- 186 funciones secundarias
- 257 fallos de función
- 631 modos de falla.

A continuación se hace un resumen del AMEF realizado a cada equipo del sistema analizado.

5.1 MOLINO HORIZONTAL DE BOLAS

Figura 42. Esquema del molino de cemento



En la tabla 6 se hace una síntesis del AMEF aplicado al molino de cemento

Tabla 6. AMEF para molino de Cemento

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA
Moler no menos de 9 t/h de cemento a una temperatura no mayor a 110 °C	No muele nada	1. Falla del Motor Sincrónico
		2. Falla del Embrague
		3. Fallas de equipos de dosificación
Muele menos de 9 ton/h		3. Fallas de equipos de dosificación
		1. Desgaste de cuerpos moledores
		2. Tamiz central roto
		3. Falla de dosificación
		4. Falla del Separador
		5. Granulometría del material alimentado por encima de 4mm

		6. Molturabilidad de clinker muy alta
	Muele material a temperatura de salida mayor a 110°C	1. Clinker a temperatura superior a 100°C
		2. Material insuficiente en la primera cámara
Girar a 23 rpm	Gira a menos de 23 rpm	1. Falla del Embrague
Triturar y reducir en la primera cámara el tamaño de la mezcla alimentada hasta un máximo de 3% malla 40	No tritura ni reduce	1. Desgaste de cuerpos
Permitir el paso de material no mayor de 6 mm de la primera cámara hacia la segunda.	Pasa material mayor a 6 mm hacia la segunda cámara	1. Tamiz central roto 2. Ranuras desgastadas
	No permite paso de nada	3. Ranuras tapadas
Moler en la segunda cámara el material hasta alcanzar una granulometría no mayor a 55% malla 325 a la salida del molino	Granulometría mayor a 55% en malla 325 1.	Desgaste de cuerpos moledores
		2. Tamiz central roto
Proteger contra el impacto y abrasión el casco del molino.	No protege el casco del molino	1. Placas rotas 2. Levantadores rotos 3. Placas caídas
Contener el cemento de transición y los cuerpos moledores en su respectivas cámaras	No contiene	1. Tornillos caídos 2. Casco del molino roto 3. Manhole mal ajustado
Proteger con culatas los cuellos del molino contra impacto y abrasión	No protege los cuellos	1. Culatas rotas 2. Culatas caídas
Transportar con aletas helicoidales el material dosificado al interior del molino	No transporta el material	1. Aletas caídas 2. Aletas desgastadas
Evitar la salida de cuerpos moledores en la salida del molino (tamiz salida)	Permite la salida de cuerpos moledores	1. Tamiz roto 2. Secciones caídas
Permitir el paso de aire de barrido del molino	No permite el paso de aire	1. Taponamiento
Sujetar las placas de tamiz intermedio entre sí	No sujeta las placas	1. Tortillería rota
Sujetar las barras levantadoras y emplacado al cuerpo del molino	No sujeta las barras y placas	1. Tortillería rota
Permitir acceso al interior del molino a una persona de contextura normal	No permite el acceso al interior del molino	1. Manhole obstruido
Permitir la salida de cemento molido reteniendo el material mayor de 10 mm	No permite la salida de cemento	1. Canastilla de salida tapada

	Permite salida de material mayor a 10 mm	2. Canastilla de salida rota
Soportar el molino radial y axialmente permitiendo la libre rotación de este, hasta un desgaste de 0.5 mm en un periodo de tiempo mayor a 6 meses	No soporta el molino	1. Babbit fundido 2. Babbit desgastado 3. Babbit partido
	Desgaste mayor a 0.5 mm al cabo de un tiempo igual o menor a 6 meses	1. Lubricación deficiente 2. Aceite contaminad
	No permite la libre rotación	1. Babbit partido totalmente 2. Babbit fundido totalmente
Contener el aceite de lubricación de los babbits	No contiene	1. Carcaza rota del soporte
Permitir la lubricación de los babbits de entrada y salida del molino por cuchara levantadora	No lubrica	1. Cucharas caídas 2. Cucharas rotas 3. Fuga de caite
Reducir la fricción entre el cuello y el babbit manteniendo una temperatura máxima de 80 °C	Temperatura mayor a 80 ° C	1. Lubricación deficiente 2. Lubricante contaminado
Transmitir 240 RPM al molino con un nivel de vibración máximo de 5 mm/s	No transmite movimiento	1. Piñón sin dientes 2. Falla del acople o Falla del embrague 3. Falla del motor
	Nivel de vibración mayor a 5 mm/s 1.	1. Piñón con dientes rotos 2. Falta rigidez en el anclaje de la transmisión 3. Desajuste del piñón en el eje 4. Piñón fisurado por el cuñero
Suministrar entre 70 y 80 grs. diariamente de grasa MALLEUS GL 205 manualmente al conjunto piñón helicoidal de ataque y Catalina	No se suministra	1. Falta rutina de lubricación 2. No Hay Malleus
	Se suministra menos de la cantidad recomendada	1. Plan de lubricación sin especificación de cantidad o mal calculada
	Se suministra mas de la cantidad sugerida	1. Plan de lubricación sin especificación de cantidad o mal calculada
Servir de apoyo y permitir el libre movimiento al eje piñón de ataque	No sirve de apoyo	1. Pernos de anclaje rotos 2. Carcaza de chumacera fisurada
	No permite el libre movimiento 1. Rodamiento	1. Rodamiento agarrotado 2. Rodamiento partido
Permitir acoplar el eje-piñón con el eje del embrague electromagnético	No permite acoplar	1. Tornillos rotos 2. Acople partido

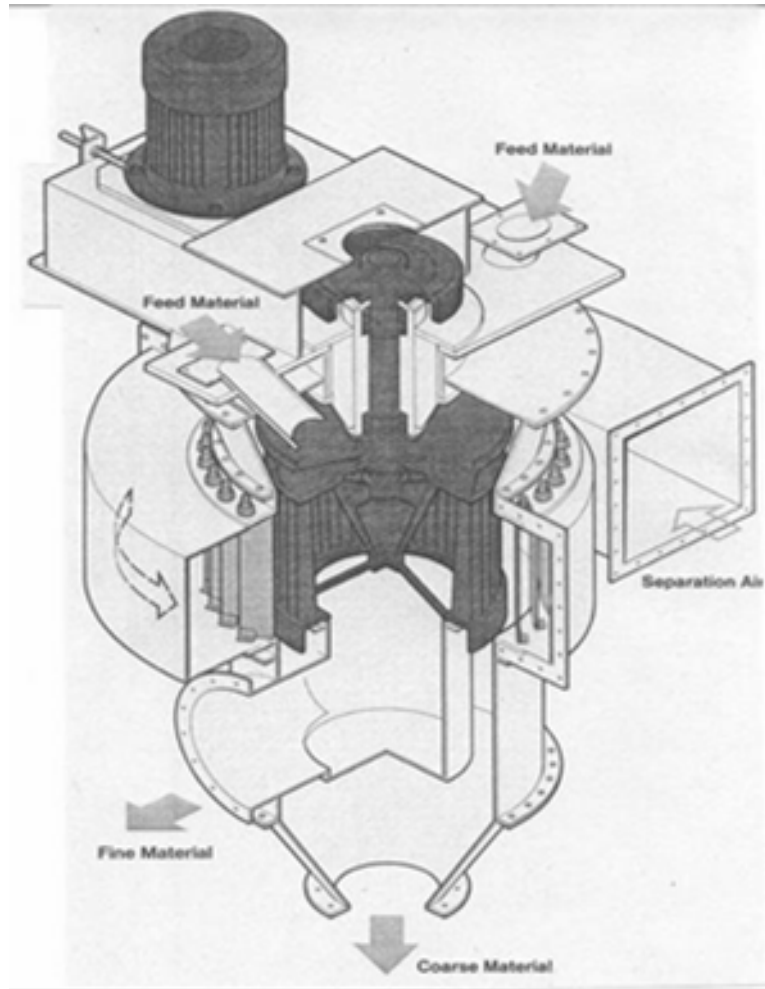
Transmitir 23 rpm al molino con catalina de 241 dientes con una excentricidad máxima de 0.5 mm	No transmite movimiento	1. Catalina sin dientes
	Excentricidad mayor de 0.5 mm	1. Mal montaje
Permitir el anclaje de la catalina al cuerpo del molino	No permite el anclaje al cuerpo del molino	1. Tornillos rotos 2. Brida de catalina partida
Transmitir el movimiento con un nivel de vibración máximo de 5 mm/s	Nivel de vibración superior a 5 mm/s.	1. Soltura mecánica
Permitir el acople del motor al eje piñón del molino con un embrague electromagnético	No permite el acoplamiento	1. Asbestos desgastados 2. Asbestos con temperatura mayor a 60°C 3. Embrague desgraduado 4. Tuerca de graduación en mal estado 5. Tuerca de graduación desajustada 6. Superficies de la tuerca y parte móvil, muy lisa o desgastada irregularmente 7. Falla Eléctrica
Permitir rotar la parte libre del embrague cuando este se encuentra desembragado sin generar ruidos y temperaturas anormales	No rota libremente	1. Rodamiento agarrotado
	Ruido Excesivo	1. Rodamiento en mal estado 2. Falla de lubricación
Permitir el anclaje de los asbestos al plato fijo del embrague	No permite anclaje correcto	1. Tornillos sueltos

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza general de sistemas mecánicos y eléctricos
- Monitoreo de vibraciones de sistemas dinámicos
- Monitoreo de rodamientos con equipo SPM pulsos de choque
- Análisis de aceite de cuellos
- Medición de espesor de babits de los cuellos
- Análisis termográficos a sistemas mecánicos y eléctricos
- Inspección visual interna con equipo parado
- Lubricación de rodamientos, y transmisión
- Inspección visual con equipo trabajando
- Monitoreo continuo de temperaturas de cuellos y molino
- Sustitución cíclica por desgaste de emplacados
- Sustitución o reacondicionamiento cíclico de partes sometidas a desgaste
- Medición mensual del desgaste de cuerpos moledores

5.2 SEPARADOR DE ALTA EFICIENCIA

Figura 43. Esquema del separador dinámico



Manual del separador Piffer

Tabla 7. AMEF para separador dinámico

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Contener la mezcla de aire y material alimentado dentro de la carcasa del separador	No contiene la mezcla	1. Carcaza rota 2. Compuerta sin sello 3. Tortillería Suelta de Tapas

		o Bridas
Clasificar mínimo 9 toneladas/hora de cemento con retenido máximo de 16% malla 325	No clasifica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla del motor 2. Ataque en la entrada del separador 3. Ataque en la descarga del separador 4. Correas rotas 5. Rodamientos agarrotados del separador 6. Damper cerrado
	Retenido mayor a 16% malla 325	<ol style="list-style-type: none"> 1. Correas destensionadas 2. Desgaste de alabes fijos 3. Canastilla desgastada 4. Señal de PV mal escalizada 5. Damper parcialmente cerrado 6. Rotura en ducto de salida de finos
Proteger contra la abrasión el cuerpo interno del separador	No protege contra la abrasión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recubrimiento desgastado 2. Recubrimiento caído
Permitir variar la velocidad del motor del separador entre 20 y 60 Hz (33%-100%)	No permite variar la velocidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Variador dañado
Suministrar 15000 m ³ /h de aire de recirculación a una presión no menor de 400 mm CA y con un nivel de vibración menor a 4 mm/s.	No suministra aire	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ventilador no arranca 2. Damper de succión cerrado 3. Correas rotas 4. Rodamientos agarrotados de chumaceras 5. Eje del rotor partido
	Suministra menos de 15000 m ³ /h	<ol style="list-style-type: none"> 1. Carcaza del ventilador rota 2. Damper succión parcialmente abierto
	Nivel de vibración mayor a 4 mm/s	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rotor desbalanceado 2. Eje torcido 3. Tornillos de anclaje sueltos 4. Correas destensionadas o desalineadas 5. Desajuste entre eje y rotor 6. Rodamientos en mal estado 7. Tortillería suelta en chumaceras

Evitar la entrada de aire falso al sistema de separación en las descargas de separador y ciclón y permitir la evacuación del cemento separado	Permite la entrada de aire falso	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hoja de clapeta abierta por caída de contrapesa 2. Clapeta abierta por hoja atascada 3. Hoja de clapeta abierta por rodamientos agarrotados 4. Hoja de clapeta rota 5. Eje de clapeta sin ajustar 6. Eje de clapeta partido 7. Carcaza de clapeta rota 8. Mal sello en bridas
	No permite la evacuación de material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clapeta cerrada por hoja atascada 2. Hoja de clapeta cerrada por rodamientos agarrotados
Regular el flujo de aire de recirculación de un 30% a 100%	No regula el flujo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla de control
Suministrar hasta 66 grs de grasa Alvania EP2 diariamente a cada rodamiento del separador por un sistema automático	No suministra nada de grasa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ductos tapados 2. Falla motorreductor 3. Válvula pegada 4. Tanque vacío 5. Falla bomba de lubricación
	Suministra menos de 66 grs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temporizador mal ajustado.
	Suministra más de 66 grs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temporizador mal ajustado.
Permitir alimentar como mínimo 25 ton de material al plato del separador a través de ductos de alimentación de Ø 4".	No alimenta material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ducto tapado
Dispersar contra las paredes el cemento que entra al separador	No dispersa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rotor parado
Proteger contra la abrasión el plato de dispersión	No protege el plato	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sin recubrimiento epóxico
Permitir girar la canastilla y servir de apoyo axial y radial al eje, con vibración no mayor a 5 mm/seg	No permite girar la canastilla	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rodamientos agarrotados
	Nivel de vibración mayor a 5 mm/s	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pistas de rodamientos desgastadas o elementos rodantes deteriorados 2. Desbalance en el rotor 3. Eje torcido
Transportar y contener la mezcla de aire y polvo de recirculación.	No transporta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ductos tapados 2. Damper cerrado

	No contiene 1. Ducto roto	1. Ducto roto 2. Mal sello en juntas y bridas
Permitir el sello entre el rotor y el plato fijo a la salida del producto terminado	No permite sello	1. Sello desgastado o roto
Contener la mezcla de aire y producto terminado en el ciclón de captación	No contiene mezcla en el ciclón	1. Carcaza de ciclón rota 2. Tortillería Suelta de Tapas o Bidas
Separar hasta 9.5 ton/hr de cemento clasificado	No separa	1. No hay tiro 2. Ducto de inmersión roto
	Separa menos de 9.5 ton/hr	1. Ducto de inmersión roto
Transportar y contener el producto terminado a la salida del ciclón hasta la entrada al elevador del silo	No transporta 1	1. Ducto atascado
	No contiene	1. Ducto roto 2. Mal sello en juntas, bridas y compuerta de inspección

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza general de sistemas mecánicos y eléctricos
- Monitoreo de vibraciones de sistemas dinámicos
- Monitoreo de rodamientos con equipo SPM pulsos de choque
- Análisis termográficos a sistemas mecánicos y eléctricos
- Inspección visual interna con equipo parado
- Lubricación de rodamientos, y transmisión
- Inspección visual con equipo trabajando
- Monitoreo continuo de temperaturas de rodamientos
- Sustitución cíclica de partes sometidas a desgaste
- Reacondicionamiento cíclico de otras partes sometidas a desgaste

5.3 ELEVADOR DE CANGILONES

Figura 44. Esquema de elevador de cangilones

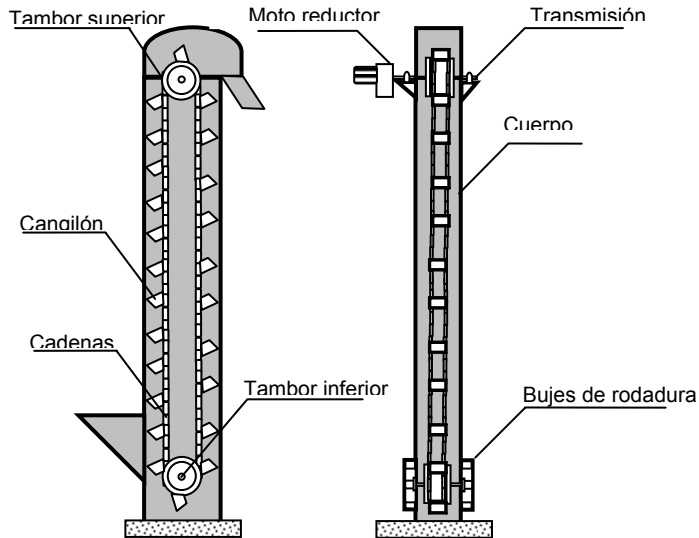


Tabla 8. AMEF para elevadores de cangilones

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Transportar el cemento de salida del molino hasta el aerodeslizador a un amperaje del motor máximo de 20 Amperios.	No transporta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motor no Arranca 2. Elevador descarrilado por exceso de material 3. Elevador descarrilado por desgaste de eslabones y bridas 4. Elevador descarrilado por tambores desgastados 5. Elevador descarrilado por desalineamiento 6. Elevador descarrilado por rotura de bridas 7. Ataque por caída de cangilón 8. Dados frenados 9. Cadena rota 10. Rodamientos Agarrotados en tambor superior 11. Tambor partido 12. Eje del tambor partido 13. Cadena de transmisión rota

	Amperaje superior a 20 A.	1. Atasque 2. Elevador descarrilado 3. Exceso de material 4. Rodamientos en mal estado
Contener el material transportado hacia el separador	No contiene	1. Cangilón agujerado 2. Cangilón
Permitir la evacuación del material transportado hacia el aereo a separador	No permite la evacuación	1. Chuta atascada 2. Platina ladrón muy alta 3. Velocidad del elevador muy alta
Servir de guía y permitir el movimiento de las cadenas a una velocidad lineal hasta de 1,5 m/s	No sirve de guía	1. Tambor desgastado 2. Cadena destensionada 3. Tambor roto
	No permite libre movimiento	1. Cadena destensionada
Servir de apoyo y permitir el libre movimiento al tambor superior	No sirve de apoyo	1. Chumacera rota 2. Tornillos de anclaje rotos 3. Base partida
	No permite el libre movimiento	1. Rodamientos agarrotados
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Servir de apoyo y contrapesa, permitiendo la ecualización libre del tambor inferior sobre las guías	No sirve de apoyo	1. Dado partido 2. Bujes desgastados
	No permite ecualización	1. Atasque de dados 2. Guías desgastadas
Servir de anclaje de los cangilones a las cadenas	No sirve de anclaje	1. Bridas rotas
Servir de unión entre cangilones formando un tren continuo	No sirve de unión	1. Cadena rota
Servir de estructura soporte del conjunto de tambores y transmisión, sin fugas de polvo hacia el ambiente	No sirve de soporte	1. Lamina del cuerpo del elevador desgastada
	Permite fugas de material	1. Lamina del cuerpo del elevador desgastada 2. Roturas por corrosión 3. Rotura tornillos bridas

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza general de sistemas mecánicos y eléctricos
- Monitoreo de rodamientos con equipo SPM pulsos de choque
- Análisis termográficos a sistemas mecánicos y eléctricos
- Inspección visual interna con equipo parado
- Lubricación de rodamientos, y transmisión
- Inspección visual con equipo trabajando
- Sustitución cíclica por desgaste de cangilones, bridas y cadenas
- Reacondicionamiento cíclico de otras partes sometidas a desgaste

5.4 AERODESLIZADORES

Figura 45. Esquema de aerodeslizador

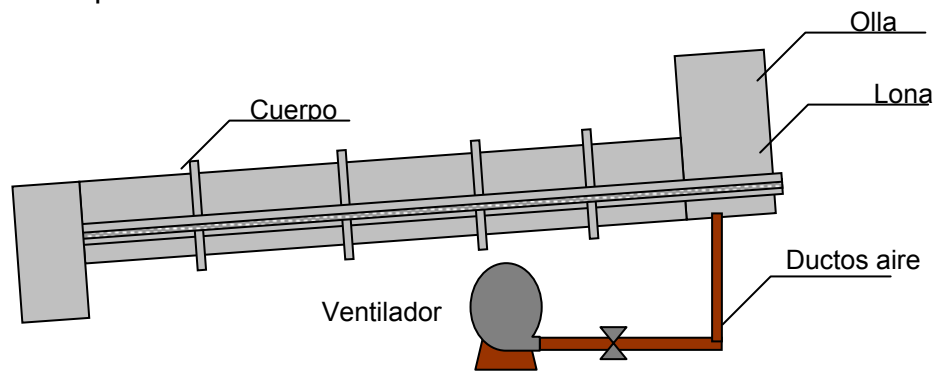


Tabla 9. AMEF para aerodeslizadores

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Transportar material pulverizado a una capacidad máxima de 25 ton/h a través de un aerodeslizador No transporta	No transporta	1. Lona rota 2. Válvula cerrada 3. Atasque 4. Fuga de aire en cámara limpia 5. Lona colmatada 6. Tubería de aire rota
Contener el aire de fluidificación y el material transportado en sus respectivas cámaras	No Contiene el Material	1. Carcaza superior rota 2. Tornillos de las bridas sueltos

<p>Suministrar un caudal no menor de 100 cfm de aire para transporte de material a una presión no menor de 500 mm CA. y con un nivel de vibración menor a 4 mm/s.</p>	<p>No suministra aire</p>	<p>1. Ventilador no arranca 2. Damper succión y/o descarga cerrado</p>
---	---------------------------	--

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza general de sistemas mecánicos y eléctricos
- Monitoreo de rodamientos del ventilador con equipo SPM pulsos de choque
- Análisis termográficos a sistemas mecánicos y eléctricos
- Inspección visual interna con equipo parado
- Lubricación de rodamientos, y transmisión de ventilador
- Inspección visual con equipo trabajando
- Reacondicionamiento cíclico por desgaste de lona
- Monitoreo de vibraciones de ventilador

5.5 FILTRO DE MANGAS PULSE JET

Figura 46. Esquema de filtro de mangas pulse jet

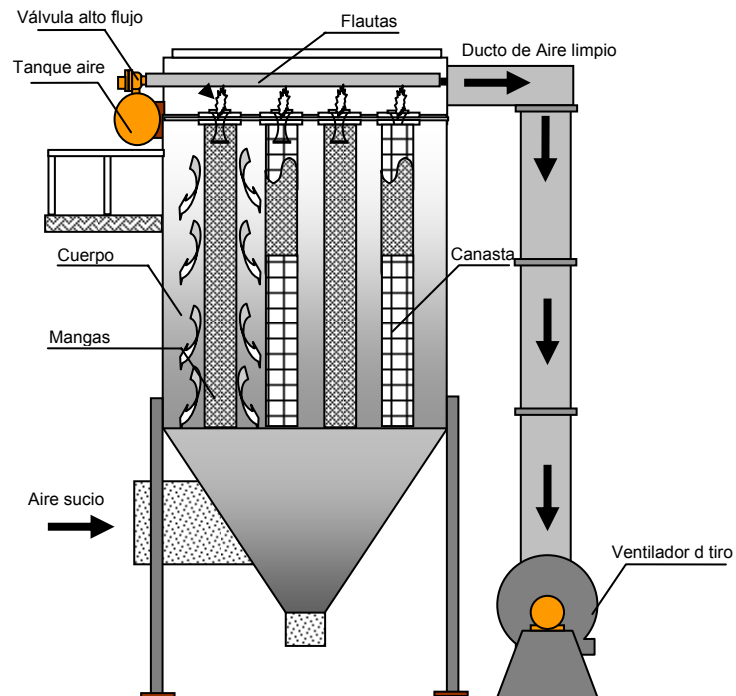


Tabla 10 AMEF para filtros de mangas pulse jet

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Filtrar el aire de barrido del molino con una eficiencia de 98% de acuerdo a la norma ambiental vigente	No filtra nada	1. Todas las mangas rotas
	Filtra parcialmente liberando material particulado con una eficiencia menor al 98% 1. Mangas rotas	1. Mangas rotas 2. Faltan mangas 3. Pantalla rota entre cámara limpia y cámara sucia 4. Sello defectuoso de las canastillas
Suministrar 8500 CFM de aire de barrido a una presión no menor de 400 mm CA y con un nivel de vibración menor a 4 mm/s.	No suministra aire	1. Ventilador no arranca 2. Damper de succión cerrado 3. Acople roto 4. Rodamientos agarrotados de chumaceras 5. Eje del rotor partido
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
	Suministra menos de 8500 CFM	1. Carcaza del ventilador rota 2. Damper succión parcialmente abierto
	Nivel de vibración mayor a 4 mm/s en la transmisión	1. Rotor desbalanceado 2. Eje torcido 3. Tornillos de anclaje sueltos 4. Acople desalineado o en mal estado 5. Desajuste entre eje y rotor 6. Rodamientos en mal estado 7. Tortillería suelta en chumaceras
Contener el aire de barrido a través de las tuberías	No contiene el aire	1. Carcaza rota 2. Ductos rotos 3. Tortillería suelta de tapas, uniones o bridas
Permitir la evacuación del cemento captado hacia el aerodeslizador de producto terminado No permite la evacuación	No permite la evacuación	1. Motor no Arranca 2. Esclusa Atascada por cuerpo extraño 3. Esclusa Atascada por rodamientos agarrotados 4. Cadena rota 5. Sensor de rotación en mal estado 6. Testigo caído

Servir de soporte para las mangas de filtración No soporta las mangas	No soporta las mangas	1. Lamina doblada o rota
Servir de estructura para evitar que la manga se colapse	No sirve de estructura	1. Canastilla rota
Contener la mezcla de aire y material particulado captados del proceso	No contiene	1. Carcaza rota 2. Ductos rotos 3. Tortillería suelta de tapas, uniones o bridas
Dirigir el aire de disparo comprimido hacia el vénturi de la canastilla	No dirige el disparo	1. Flauta tapada
Contener el aire para limpieza de mangas	No contiene el aire	1. Tanque roto 2. Fuga en uniones
Permitir suspender el suministro de aire comprimido al tanque pulmón	No permite suspender el suministro	1. Llave dañada 2. Llave sin manija
Permitir captar agua de condensado a la entrada del tanque pulmón	No permite captar condensado	1. Filtro en mal estado
Permitir la purga de condensado en el tanque pulmón	No permite purgar.	1. Válvula dañada o tapada
Mantener la presión por debajo de 92 psi Permite que la presión este por encima de 92 psi	Permite que la presión este por encima de 92 psi	1. Válvula dañada o tapada

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza de ductos
- Limpieza CCM y electos de control
- Limpieza e inspección de válvulas de alto flujo
- Análisis de vibraciones a ventilador
- Análisis termográfico de CCM
- Inspección de cuerpo y ductos
- Inspección de deposito y tubería de aire comprimido
- Inspección de transmisión ventilador
- Lubricación de rodamientos del ventilador
- Cambio de mangas a falla
- Inspección de parámetros de control de pulsos de aire comprimido
- Inspección interna

5.6 BANDAS DOSIFICADORAS

Figura 47. Esquema de banda dosificadora

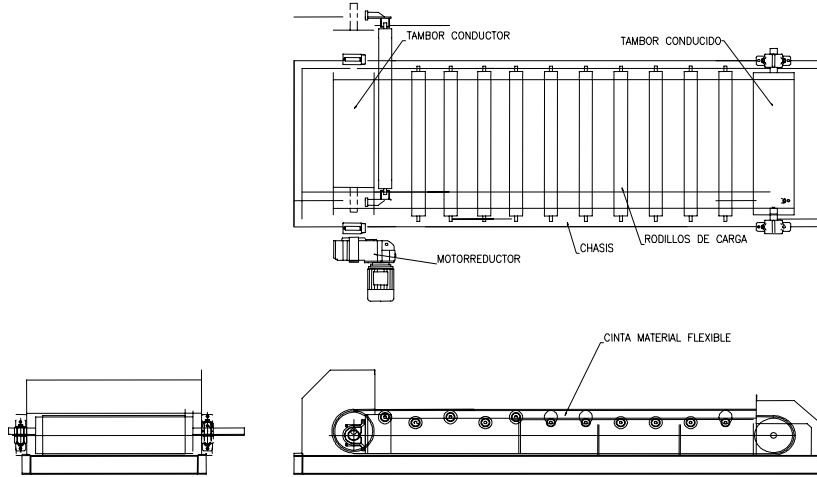


Tabla 11. AMEF para bandas dosificadoras

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
<p>Dosificar clinker a una granulometría no mayor a 0.7% en malla 6, de acuerdo a una receta suministrada por Control de Calidad.</p>	<p>No Dosifica nada</p>	<p>1. Cinta Rota Totalmente de forma transversal 2. Motor Quemado 3. Daño en Variador 4. Rodamientos agarrotados del Reductor 5. Piñones del Reductor Dañados 6. Cadena de Transmisión Rota</p>
		<p>7. Rodamientos agarrotados de los Tambores de cabeza y cola 8. Eje Partido de Tambores 9. Falta Energía Eléctrica interna 10. Guillotina de la Chuta Cerrada 11. Daño Controlador PLC 12. Silos Vacíos</p>

	Dosifica cantidad diferente a la requerida por COP	1. Daño en Variador 2. Banda desalineada 3. Banda destensionada 4. Cinta Agujerada 5. Falla del Programa lfix 6. Atasque Parcial en la Chuta hacia la Banda 7. Cadena de Transmisión Destensionada
	Granulometría mayor a 0.7% en malla 6	1. Mallas de la Criba de Premolienda Rotas
Permitir soportar el sistema motriz y el conjunto de tambores y rodillos de la banda	No sostiene los rodillos	1. Base para rodillo partida
	No soporta el sistema motriz	1. Tornillos o Soldaduras en mal estado 2. Material fatigado 3. Material con corrosión
	No soporta el conjunto de tambores de la banda	1. Base partida 2. Anclajes sueltos 3. Perdida de anclaje de las chumaceras 4. Falla de la estructura
Permitir el movimiento lineal de la banda libremente	No permite el libre movimiento	1. Rodillos pegados
Contener el material dosificado hasta la entrada del molino	No Contiene el Material	1. Cinta Rasgada 2. Cinta Agujerada 3. Banda Desalineada 4. Encausadores caidos o en mal estado 5. Banda destensionada
Evitar que la parte de retorno de la banda se descuelgue	La banda se descuelga	1. Falta rodillos de retorno 2. Rodillo partido

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza general de sistemas mecánicos y eléctricos
- Análisis termográficos a sistemas mecánicos y eléctricos
- Inspección visual con equipo parado
- Lubricación de rodamientos, y transmisión
- Inspección visual con equipo trabajando
- Reacondicionamiento cíclico por desgaste de rodillos de carga y retorno

5.7 SILOS ALIMENTADORES

Figura 48. Esquema de silo alimentador

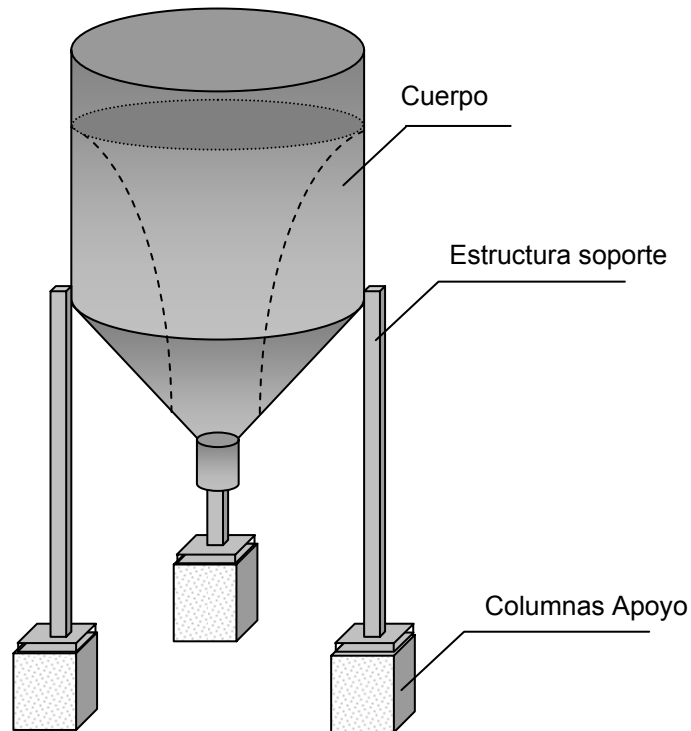


Tabla 12. AMEF para silo alimentador

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Contener hasta 16 toneladas de Caliza	No Contiene	1. Silo Agujerado 2. Soldadura Rotas
Permitir el paso de Caliza hacia la banda	No permite el paso de caliza	1. Chuta deforme del silo 2. Material húmedo o encostrado 3. Corrosión alrededor de los apoyos soldados del filtro

Restringir el flujo de material sobre la banda	No restringe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla en volante o esta 2. Tornillo con rosca dañada 3. Lamina doblada o perforada 4. Rieles atascados o en mal estado
--	--------------	--

Tareas de mantenimiento Preventivo:

- Inspección de cuerpo
- Inspección ultrasónica de espesores

5.8 ESCLUSAS ROTATIVAS

Figura 49. Esquema de esclusa rotativa

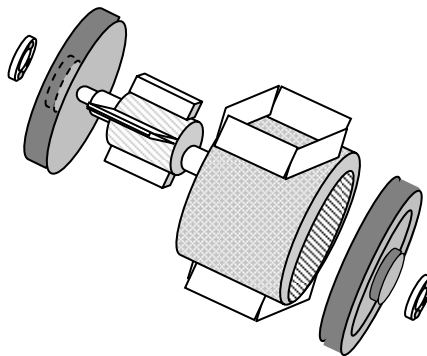


Tabla 13. AMEF para esclusa rotativa

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Contener el material transportado hacia el bajante	No contiene	<ol style="list-style-type: none"> 1. Carcaza Rota 2. Daño en sellos 3. Tortillería Suelta de Tapas
Permitir el paso constante de cemento al bajante de entrada elevador a separador evitando la entrada de aire falso al sistema	Flujo no constante	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cadena destensionada 2. Desgaste de Alabes del rotor de la Esclusa 3. Desgaste interno de la carcaza

	No permite el paso material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motor no Arranca 2. Esclusa Atascada por cuerpo extraño 3. Esclusa Atascada por rodamientos agarrotados 4. Cadena rota 5. Sensor de rotación en mal estado 6. Testigo caído
--	-----------------------------	---

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza general partes mecánicas
- Limpieza CCM
- Análisis termográfico de CCM
- Cambio de aspas según condición
- Lubricación de rodamientos

5.9 MOTORREDUCTORES

Figura 50. Esquema de motorreductor

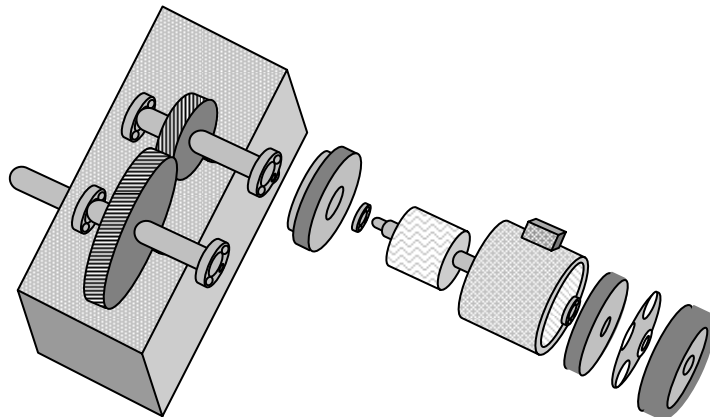


Tabla 14 AMEF para motorreductores

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
Suministrar la potencia requerida a una tensión de 440 voltios	No suministra potencia	1. Motor quemado 2. Breaker en posición OFF 3. Protección térmica activada 4. Contactor en mal estado 5. Falla de suministro de energía 6. Desconexión de alguna de las fases 7. Eje partido
Permitir acoplarse	No permite acoplarse	1. Eje partido 2. Falta de cuña 3. Cuñero en mal estado
Proteger el motor contra sobrecarga	No protege el motor contra sobrecarga	1. Protección mal seteada 2. Térmico en mal estado
Proteger la red contra cortocircuito	No protege la red contra cortocircuito 1. Protección mal seteada 2. Breaker dañado	1. Protección mal seteada 2. Breaker dañado
Servir de apoyo al eje central del motor y permitir libre movimiento con un nivel de vibración no mayor a 4 mm/s y un ajuste del rodamiento de ± 0.2 mm	No sirve de apoyo	1. Tapa partida en el alojamiento del rodamiento 2. Tornillos caídos de la tapa
	No permite el libre movimiento	1. Rodamientos agarrotados 2. Tapas muy ajustadas
	Nivel de vibración mayor a 4 mm/s	1. Rodamientos en mal estado 2. Eje torcido o rotor desbalanceado 3. Ventaviola desajustada
	Ajuste fuera de los límites establecidos	1. Alojamiento desgastado 2. Rodamiento muy ajustado
Permitir auto-refrigeración	No permite auto-refrigeración	1. Intercambiador de calor 2. Ventaviola caída
Impedir el contacto directo de las personas con las conexiones eléctricas	Permite el contacto de las personas con las conexiones eléctricas	1. Tornillos tapa bornera sueltos 2. Tapa partida
Aislar el interior del motor contra el medio ambiente	No aísla el interior del motor	1. Carcaza y tapas rotas 2. Tapas sueltas

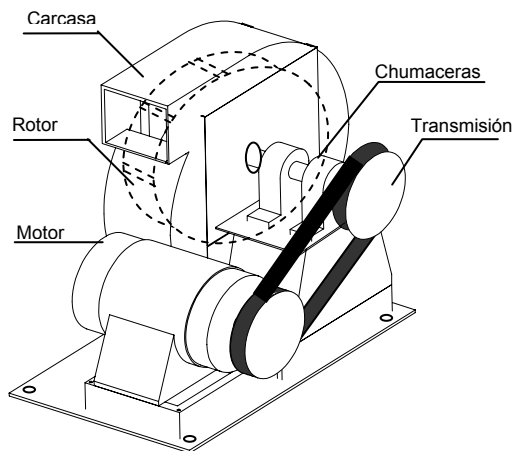
Permitir visualizar los datos de identificación del motor	No permite identificar datos técnicos motor	1. Placa borrosa 2. No tiene placa
Permitir apoyarse y anclarse No permite apoyarse	No permite apoyarse	1. Patas partidas
	No permite anclarse	1. Patas partidas
Permitir lubricar rodamientos	No permite lubricar rodamientos	1. Graseras tapadas 2. Graseras partidas, caídas
Tener un grado de protección como mínimo IP54	Tiene un grado menor a IP54	1. Motor no lo posee
Tener un nivel de aislamiento mínimo de 250 Kohm	Nivel de aislamiento menor a 250 Kohm	1. Motor con bajo aislamiento
Permitir el cierre de circuito de potencia (contactor)	No permite el cierre del circuito de potencia	1. Bobina quemada 2. Contactos aislados 3. Cable suelto en alimentación de bobina

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza externa de motor
- Limpieza mensual CCM
- Análisis termográfico de CCM
- Inspección del nivel de aceite del reductor
- Análisis de pulsos de choque a rodamientos de motor y reductor
- Inspección de conexiones del motor

5.10 VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN

Figura 51. Esquema del ventilador de recirculación



Ver AMEF del separador dinámico de alta eficiencia de esta sección.

Tareas de mantenimiento preventivo:

- Limpieza de cuerpo y transmisión
- Limpieza de CCM
- Análisis de vibraciones a rodamientos y condición dinámica del rotor
- Análisis termográfico de motor y CCM
- Cambio de rotor según condición dinámica
- Inspección de carcasa y ductos de succión y salida de aire
- Lubricación de rodamientos
- Inspección visual con equipo trabajando
- Revisión de anclajes

6. CONCLUSIONES

RCM 2 encaja perfectamente en las políticas corporativas de la compañía, desde el punto de vista del mejoramiento continuo, por lo que el modelo de gestión planteado, basado en la filosofía RCM 2 y combinado con el ciclo PHVA, permite construir un marco favorable para seguir mejorando y cumpliendo objetivos.

Con el mapa de gestión del proceso de mantenimiento, integrado al nuevo modelo de gestión, permite tener una mejor visión de la interacción de los procesos complementarios de un sistema de gestión de mantenimiento como son, gestión de almacén y procesos operativos como calidad y producción, los cuales son los proveedores y clientes internos prioritarios, respectivamente de mantenimiento.

La aplicación del estudio RCM para la planta de San Gil se puede realizar con el personal que actualmente labora en esta planta, incluyendo los grupos de trabajo con especializaciones, ya que la formación recibida por el personal, cubre las necesidades propias de un estudio de este tipo.

Uno de los aspectos más importantes para que este estudio tenga éxito es el compromiso que se logre tener, por parte de la alta directiva, a la cual se le mostrarán los beneficios que se pueden obtener a partir de la implementación de esta filosofía.

Por otro lado la integración entre los procesos operativos, rompiendo el paradigma de realizar las funciones de cada uno por separado, traerá grandes beneficios en la optimización del uso de la mano de obra y ayudará en gran parte, en la creación de conciencia, de que las funciones de los equipos dependen de todos y no exclusivamente de mantenimiento como se piensa comúnmente.

Se necesita adoptar urgentemente un modelo de gestión de almacén, integrado a compras, con el fin de agilizar la adquisición de repuestos y así potenciar la eficacia de mantenimiento.

Es imprescindible insistir en la capacitación del personal operativo, en lo que se refiere a la implementación de RCM y todos los elementos que esta filosofía necesita para su desarrollo.

La creación del nuevo paradigma de no hacer mantenimiento invasivo, traerá grandes beneficios económicos para la compañía, por el ahorro que se tendrá en repuestos y mano de obra que se requiere con el modelo actual.

Cementos Andino es una empresa comprometida con la seguridad de las personas y el medio ambiente, por lo que la filosofía de RCM 2 encaja perfectamente con los requerimientos de tipo técnico y legal, que en la actualidad han adquirido gran peso en cualquier modelo de gestión.

Los conceptos de falla oculta y búsqueda de fallas traerán grandes ventajas con relación al modelo actual, ya que no se tenía un enfoque adecuado para realizar mantenimiento, sobre todo en lo que se refiere a equipos de **stand-by** y sistemas de seguridad de equipos altamente críticos como son los molinos y hornos rotatorios de la planta.

Se puede decir que RCM 2 es una filosofía con una visión proactiva, ya que a partir de la utilización de herramientas como el AMEF, se puede anticipar la manera como pueden fallar los componentes de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Gran Bretaña: Aladon, 2004. 433 p.

TORRES, Leonardo Daniel. Mantenimiento su Implementación y gestión. Segunda edición. Argentina: Universitas. 2005. P. 221-256

GONZALEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Seminario IV de la investigación. UIS. 2005. 31p.

GONZALEZ JAIMES, Isnardo. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Seminario II: Monografía de Especialización. UIS. 2005. 95p.

SANTAMARIA DE LA CRUZ, Aleck. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Mantenimiento Centrado En Confiabilidad. UIS. 2005. 95p.82.p

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. Memorias del curso de facilitadores de RCM 2. Bogotá. 2004.

CURSO EN FORMACION EN RCM. Memorias del curso de tres días. Bogotá.2002