

**MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA
MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A**

**ANGEL MAURICIO GONZÁLEZ ROCHA
LEONARDO MORA BALLESTEROS**

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

**MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA
MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A**

**ANGEL MAURICIO GONZÁLEZ ROCHA
LEONARDO MORA BALLESTEROS**

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

**Director: LEOPOLDO ARTEAGA SAEZ
Ingeniero Mecánico
Especialista en Mercadeo y Administración de Empresas**

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

A mi esposa y mis hijos

Ángel Mauricio González Rocha

A Dios, a mi madre y mis hermanos

Leonardo Mora Ballesteros

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Leopoldo Arteaga por su decidida colaboración.

A la empresa Manufacturas de Cemento por brindarnos la ayuda e información necesaria para realizar esta monografía.

A la Universidad Industrial de Santander por ofrecer programas especializados que permiten la actualización y el logro de objetivos a los profesionales colombianos.

Al Ingeniero Carlos Ramón González, y toda la planta de profesores que nos ofrecieron su amistad, experiencia y orientación requeridas.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	1
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	1
1.2 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA COMPAÑÍA	1
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA	2
1.3.1 Organigrama	2
1.3.2 Infraestructura	3
1.3.3 Proceso de producción	4
1.3.4 Líneas de producción	4
1.3.5 Equipos	7
1.3.6 Sistema de información	25
1.3.7 Distribución de planta	28
1.4 DIAGNÓSTICO	29
1.4.1 Organización	29
1.4.2 Procesos de mantenimiento	30
1.4.3 Documentación Técnica	31
2. MODELOS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	33
2.1 RESEÑA HISTÓRICA	33
2.1.1 Primera generación	33
2.1.2 Segunda generación	33
2.1.3 Tercera generación	33
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	35
2.2.1 Mantenimiento Correctivo	35
2.2.2 Mantenimiento Preventivo	37
2.2.3 Mantenimiento Predictivo	37
2.2.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM)	40
2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	41
2.3.1 Aspectos Preliminares	42
2.3.2 Descripción general de la instalación	43
2.3.3 Descripción del proceso	44
2.3.4 Condiciones de operación	44
2.3.5 Grupos de trabajo	44
2.3.6 Tareas principales del análisis RCM	49

3. MODOS DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS (FMEA)	56
3.1 CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD DE LOS FALLOS	57
3.2 EL PROCESO FMEA	57
3.2.1 Las funciones de las maquinas y/o procesos dentro de FMEA	58
3.2.2 Los modos de falla	58
3.2.3 Efectos de los modos de falla	61
3.2.4 La severidad de los modos de falla	61
3.2.5 Las posibles causas de fallas	62
3.2.6 Ocurrencia	64
3.2.7 Detección	66
3.3 NÚMERO DE RIESGO PRIORITARIO (RPN)	68
3.3.1 Definiciones del riesgo	69
3.3.2 Representación geométrica del riesgo	70
3.3.3 Calculo del RPN	72
4. MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM	73
4.1 ESTUDIO Y PREPARACIÓN	73
4.2 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA	74
4.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS	74
4.4 TRATAMIENTO DE LOS ITEMS NO CRÍTICOS	82
4.5 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	82
4.6 ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS	88
4.7 SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO	96
4.8 INDICADORES DE GESTIÓN PARA MANTENIMIENTO	100
4.9 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	101
4.10 IMPLANTACIÓN DE RECOMENDACIONES	101
4.11 SEGUIMIENTO DE RESULTADOS	102
5. SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE	104
5.1 PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL	104
5.2 PARONAMA DE FACTORES DE RIESGO	104
5.3 ÁREAS DEL PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL	106
5.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL	107
6. CONCLUSIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Listado de equipos para el transporte de prefabricados	17
Tabla 2. Automotores en uso en la planta de Manufacturas de Cemento	23
Tabla 3. Tareas principales del Análisis RCM	49
Tabla 4. Clasificación de severidad de los fallos	57
Tabla 5. Niveles de modos de falla	59
Tabla 6. Guías para la selección de la severidad en el sistema FMEA	65
Tabla 7. Guías para la determinación de la ocurrencia en el sistema FMEA.	66
Tabla 8. Guías para la determinar la detección en el sistema FMEA	67
Tabla 9. Categorías de acuerdo a su clasificación	71
Tabla 10. Criterios a tener en cuenta en el análisis	76
Tabla 11. Resultado del análisis de criticidad	77
Tabla 12. Índices de criticidad obtenidos	81
Tabla 13. Orden de aplicación del RCM sugerido	82
Tabla 14. Equipos del proceso de fabricación de mezcla	83
Tabla 15. Características técnicas de los equipos del sistema SKAKO	83
Tabla 16. Fallas del Sistema Skako último semestre	86
Tabla 17. Calificación severidad, detección y ocurrencia.	88
Tabla 18. Causas potenciales de falla Cubo Móvil	96
Tabla 19. Plan de actividades de mantenimiento para el cubo móvil	98
Tabla 20. Plan de inspecciones para el cubo móvil	99

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Organigrama del área de mantenimiento	3
Figura 2. Instalaciones planta Manufacturas de Cemento S.A	4
Figura 3. Diagrama de flujo proceso de producción	5
Figura 4. Tubería de concreto reforzada	6
Figura 5. Prefabricados en concreto	6
Figura 6. Productos especiales de concreto	7
Figura 7. Equipos para el proceso de tamizado	9
Figura 8. Equipos para dosificación y pesaje de agregados	8
Figura 9. Mezcladora de concreto	9
Figura 10. Silos y tornillos transportadores	10
Figura 11. Tolvas para pesaje de cemento	10
Figura 12. Cubo móvil	11
Figura 13. Máquina VihyFleximatic	12
Figura 14. Modul 250/360	13
Figura 15. Betodan	13
Figura 16. Mesas Vibratorias	14
Figura 17. Máquina Columbia	15
Figura 18. Máquina Longinotti	16
Figura 19. Puente grúas	17
Figura 20. Máquina M.B.K	18
Figura 21. Subestación y planta eléctrica	19
Figura 22. Calderas	20
Figura 23. Compresores	20
Figura 24. Pozo profundo, reservorio y cuarto de bombas respectivamente	21
Figura 25. Bascula de pesaje	21
Figura 26. Surtidores de combustible	22
Figura 27. Depósito combustible para caldera	22
Figura 28. Montacarga	24
Figura 29. Cargador	24
Figura 30. Pantalla del AM, entorno Infraestructura, submenú Terceros	25
Figura 31. Pantalla del AM donde se muestra el entorno Equipos	26
Figura 32. La evolución del mantenimiento	34
Figura 33. Nuevos puntos de vista sobre fallas de los equipos	36
Figura 34. Mantenimiento Correctivo	37
Figura 35. Mantenimiento Preventivo	38
Figura 36. Mantenimiento Predictivo	40
Figura 37. Ciclo del mantenimiento centrado en confiabilidad	55
Figura 38. Curva de confiabilidad de la bañera	62
Figura 39. Lista de chequeo como herramienta en la detección	69

Figura 40. Secciones para estudio de criticidad	75
Figura 41. Gráfica Pareto de fallas del Sistema Skako	87
Figura 42. Análisis FMEA para el equipo Cubo Móvil	90
Figura 43. Árbol lógico de decisión para el cubo móvil	97
Figura 44. Modelo propuesto	103

ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato de Orden de Trabajo (OT)	114
Anexo B. Formato de inspección	115
Anexo C. Diagrama de flujo área de mantenimiento	116

RESUMEN

TITULO: MODELO GERENCIAL DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A *.

AUTORES: ANGEL MAURICIO GONZÁLEZ ROCHA, LEONARDO MORA BALLESTEROS **.

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO, ORGANIZACIÓN, EQUIPO, RCM

DESCRIPCIÓN Ó CONTENIDO: El RCM ó Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una estrategia que busca mantener la función de una máquina antes que la máquina misma, no es tan necesario tener la máquina limpia, o tener la máquina con artefactos tecnológicos que puede que no sean vitales en el proceso, es necesario simplemente que la máquina cumpla con su función. La estrategia de RCM es mundialmente conocida y en el entorno de mantenimiento es una herramienta que se está implementando ya en Colombia en vista de los resultados que ofrece en el entorno industrial, los cuales brindan beneficios operativos y económicos.

En vista de eso se plantea un análisis de la aplicación de RCM en la planta de Manufacturas de Cemento S.A. para optimizar los procesos de mantenimiento que se llevan a cabo diariamente en la planta, y los cuales afectan el proceso productivo en general, además de aplicar directamente herramientas propias de RCM para garantizar una confiabilidad alta.

En el trabajo se muestran las diferentes etapas para tomar medidas asociadas con RCM y así mejorar el proceso de mantenimiento. Por último se presentan algunas recomendaciones para continuar con el proceso y algunas herramientas que son útiles en el entorno operativo y que entrarían a complementar este trabajo.

*Monografía

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia Mantenimiento.
Director. Leopoldo Arteaga. Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: MANAGEMENT MAINTENANCE MODEL FOR MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A.*

AUTHORS: ANGEL MAURICIO GONZALEZ ROCHA, LEONARDO MORA BALLESTEROS **

KEYWORDS: MAINTENANCE, ORGANIZATION, EQUIPMENT, RCM

DESCRIPTION OR CONTENT:

The RCM (Reliability Centered Maintenance) is a strategy where the main objective is to caring about the right function of the machine before the machine itself, cleaning, or updating are very important, but the first reason is the machine has to fulfill the functions, what for was designed. The RCM strategy is widely known around the world, now Colombia is increasing the RCM because of its important results in the industry, with economical and productive advantages.

For these reasons we are planning to improve the RCM in the company : Manufacturas de Cemento S.A. to obtain the best results in daily work, looking for process that guaranty high reliability, applying for that, the tools of RCM.

The work shows the different steps to improve the RCM in the company and how to use the different tools to obtain the best results in the process.

*Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director. Leopoldo Arteaga. Mechanical Engineer

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia se está viviendo una situación económica que nos prepara para el Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos, un país con una clara ventaja económica y operativa; para las empresas colombianas se presenta el reto de superar las expectativas del consumidor nacional y extranjero para fortalecer sus mercados, y en este proceso es necesario garantizar la calidad del producto. La calidad es una característica clave para conquistar otros mercados, y para garantizar la calidad se debe contar con un proceso eficiente.

Desde el área de mantenimiento se puede mejorar la calidad del producto garantizando el buen funcionamiento de la máquina y mejorar la calidad de un proceso mejorando la disponibilidad y la confiabilidad de las mismas, en base a esto se plantea la necesidad en la empresa Manufacturas de Cemento S.A. de optimizar el mantenimiento usando estrategias que permitan mejorar el proceso, mejorar la calidad de sus productos y cumplir con una de las políticas de la empresa referente a conquistar nuevos mercados.

La idea general de mantenimiento está cambiando. Los cambios son producidos por un aumento de la automatización, mayor complejidad de la maquinaria, las nuevas teorías y técnicas administrativas y de mantenimiento, así como por un renovado enfoque de la organización y de las responsabilidades dentro de la misma.

El mantenimiento sigue a la vanguardia de las nuevas tendencias. Estas incluyen una mayor importancia en los aspectos de seguridad industrial y del medio ambiente, un conocimiento progresivo de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, además de una creciente necesidad de aumentar y mantener un alto nivel de disponibilidad de la maquinaria, con el objeto de aumentar productividades y al mismo tiempo lograr reducciones en los costos de operación.

1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

Para llevar a cabo la construcción de la primera hidroeléctrica en Bogotá se necesitaron materiales que tuvieron que ser importados en su totalidad, este hecho y la visión que tenían los hermanos Samper Brush para la industria nacional los llevaron a constituir la primera fábrica nacional de cementos artificiales, que en honor al centenario de la independencia empezó producción en 1910. La empresa tuvo el objetivo de mejorar la construcción tanto con materiales como con capacitación para los trabajadores de la construcción, maestros de obra y oficiales. Ya en 1916 la empresa hizo los primeros prefabricados de cemento en los mismos predios de la fábrica, creando un departamento interno llamado Manufacturas de Cemento, dentro del cual fueron creados los primeros tubos en concreto.

Luego en 1929 debido al traslado de las instalaciones de la empresa y por la crisis económica mundial ingresaron nuevos e importantes grupos de accionistas, la empresa cambió de razón social a “Fábrica de Cemento Samper” y el Departamento de Manufacturas de Cemento pasó a ser una compañía totalmente independiente, a la cual los accionistas aportaron los equipos y moldes que se utilizaban anteriormente para la producción, fue así que el primero de julio de 1938 se constituyó Manufacturas de Cemento S.A.

Luego que acabó la Segunda Guerra Mundial se adquirieron nuevos equipos y tecnologías, en 1972 comenzó un proyecto por mejorar la calidad de las mezclas dosificadas por peso y el uso de vibrocompactación en la producción de la tubería; en 1995 se trasladaron las instalaciones del casco urbano de Bogotá hasta el municipio de Cota - Cundinamarca, donde se incorporaron nuevos equipos para la producción que permitían producir tubería de hasta 360cm de diámetro interno, logrando con estas tecnologías ser una de las mejores plantas de Latinoamérica en un área de 220.000m².

1.2. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA COMPAÑÍA

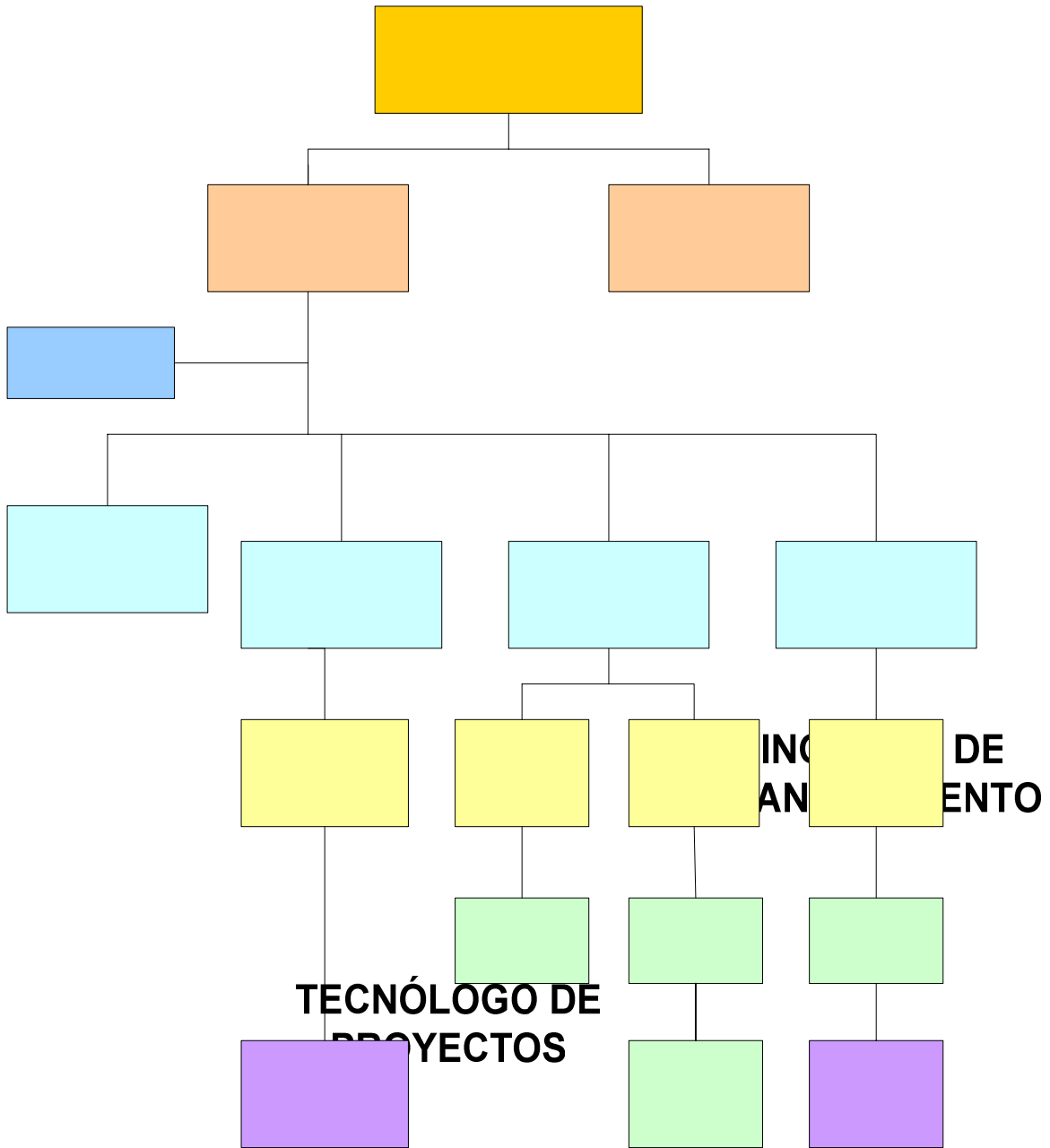
La Planeación Estratégica es un proceso de direccionamiento utilizado por Manufacturas de Cemento S.A. para establecer los objetivos corporativos y estratégicos que permiten orientar la organización hacia el cumplimiento de su misión y el desarrollo de su visión.

- **Misión:** Manufacturas de Cemento S.A. tiene como misión contribuir dignamente al desarrollo económico de Colombia, mediante la producción de prefabricados de concreto, entre los cuales ejerce el liderazgo tecnológico, de calidad y mercadeo manteniendo el crecimiento integral de sus trabajadores y contribuyendo con sus productos al mejoramiento del medio ambiente.
- **Visión:** La visión de Manufacturas de Cemento S.A. es contribuir al desarrollo económico de Colombia, mediante la fabricación y comercialización de productos para los mercados de infraestructura y construcción; conservando el liderazgo tecnológico y de calidad en tubería para alcantarillado, generando una rentabilidad adecuada para sus accionistas, buscando el crecimiento integral de sus trabajadores y contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente.
- **Políticas de calidad de la empresa:** Durante un proceso de crecimiento de muchos años, Manufacturas de Cemento S.A. ha mantenido inalterable el sentido de responsabilidad con sus clientes, sus proveedores, sus empleados y la comunidad a la que sirve. Por eso, el constante compromiso de garantizar la mejor Calidad en todos sus productos dentro de un permanente desarrollo tecnológico e industrial. Manufacturas de Cemento S.A. mantiene un estricto control de calidad, sometiendo los productos a rigurosos ensayos y controles durante su procesamiento y después de terminados. A comienzos de 1999, el ICONTEC, entidad acreditadora de sistemas de calidad, otorgó a la empresa sellos de calidad para las líneas de productos amparadas por las siguientes normas: NTC-401 Tubos de concreto reforzado para alcantarillado, NTC-1022 Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado, NTC-1328 Juntas flexibles para tubos circulares de concreto. A comienzos del año 2000 inició el proceso para el certificado de Aseguramiento de la calidad ISO 9002.

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA

1.3.1 Organigrama. La Compañía la componen alrededor de 300 personas entre el personal de planta y el área administrativa, en la Figura 1 se muestra la estructura organizativa del área de mantenimiento la cual se compone de 26 personas entre ingenieros, tecnólogos, técnicos, mecánicos y ayudantes.

Figura 1. Organigrama del área de mantenimiento



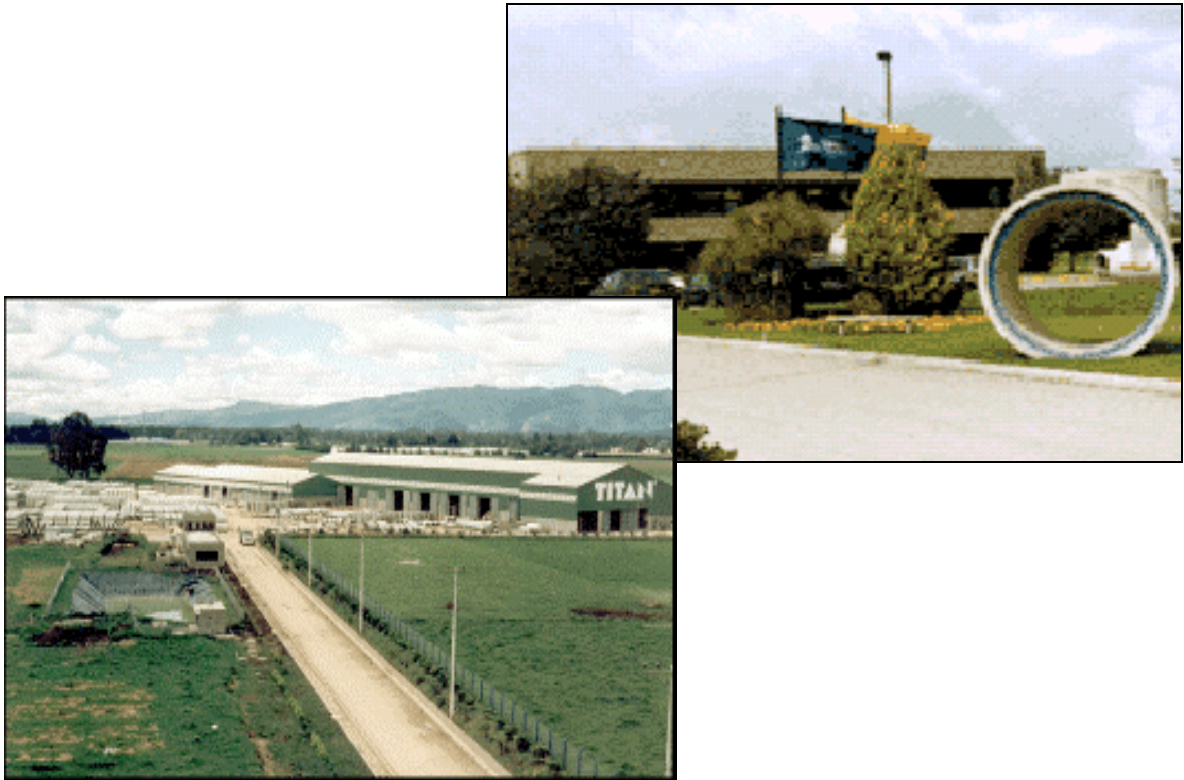
1.3.2 Infraestructura. La planta física de Manufacturas de Cemento está ubicada por la Autopista Medellín, entrada a 2.4km al occidente del Río Bogotá, municipio de Cota, departamento de Cundinamarca en la republica de Colombia; la planta de producción tiene un área de unos ~~140~~ 140000m². Aparte de la planta se tienen otros

PROGRAMADOR DE
MANTENIMIENTO

SUP.
MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ

dos edificios principales, el centro de despachos y el edificio de administración los cuales se aprecian en la Figura 2.

Figura 2. Instalaciones Planta Manufacturas de Cemento S.A.



1.3.3 Proceso de producción. Se caracteriza por la fabricación de concreto seco o de bajo contenido de humedad y la transformación de éste en prefabricados bajo el principio de vibrocompactación. En la Figura 3, se muestra el diagrama de flujo del proceso básico desde la entrada de materias primas, transformación y almacenamiento de producto terminado.

1.3.4 Líneas de producción. Entre las líneas de producción mas comerciales que se fabrican en la compañía podemos encontrar:

- **Tubería:** Fabricación de tubería en concreto para transportar aguas lluvias, aguas negras, residuos de líquidos industriales y en general aplicaciones en las que se tiene baja presión hidrostática interna. Se fabrica en diámetros de 15cm hasta 60cm por 125cm de longitud; y de 60cm a 360cm de diámetro por 250cm de longitud como se aprecia en la Figura 4, simple o reforzada con acero; para esta ultima se elabora una malla electro soldada metálica enrollada helicoidalmente para brindarle una mayor resistencia. También se

hacen accesorios para tubería como yees, tees, semicodos, cámaras de inspección y codos en concreto, con o sin refuerzo dependiendo del diámetro.

Figura 3. Diagrama de flujo proceso de producción

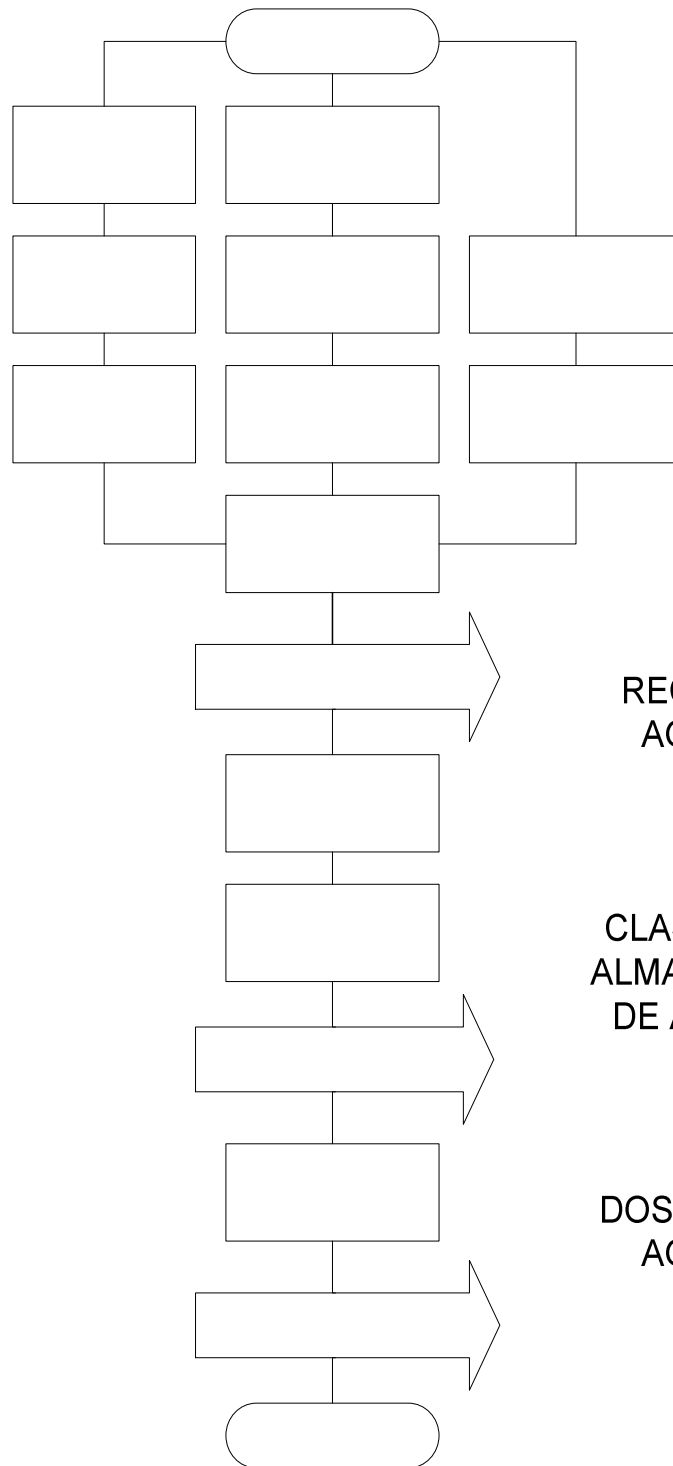


Figura 4. Tubería de concreto reforzada



- **Prefabricados:** Hacen parte de esta línea los sardineles, losetas para andenes, bolardos, bancas, rejillas, canecas, postes, prefabricados para vías, tejas, traviesas para vías férreas, tope llantas y mobiliario urbano. Ésta es una línea de productos de gran demanda para la empresa, sobre todo en Bogotá, ciudad que está cambiando drásticamente su espacio público, embelleciéndolo y mejorando su entorno. Ver Figura 5.

Figura 5. Prefabricados en concreto



- **Productos especiales:** En algunas circunstancias, sea por el tipo de construcción, por el tipo de suelo, por la aplicación, etc., se tiene la necesidad de crear productos especiales, como tuberías con recubrimiento interior y/o exterior, tubería hincada para túneles, box coulvert (una especie cajones que se unen unos con otros para formar un túnel o camino), y algunos recubrimientos especiales para la tubería como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Productos especiales de concreto



1.3.5 Equipos: Para hacer una descripción breve de los equipos se tomará como base el área a la que pertenecen y al proceso en el que intervienen. Cabe anotar que este mismo principio es el que rige para la clasificación y codificación de los equipos.

Equipos del área de fabricación

Proceso de tamizado: Se compone de cuatro bandas transportadoras, una zaranda y una trituradora. Los cuales se aprecian en la Figura 7.

Proceso de preparación de mezcla. Lo compone básicamente el equipo Skako del cual hacen parte: tolvas y dosificadores de agregados, banda de pesaje, skip de agregados, mezcladora de concreto, tornillo sin fin de cemento, tolvas para pesaje de cemento, un cubo móvil para transporte y distribución de concreto.

- Tolvas y dosificadores de agregados: Consta de siete (7) tolvas con su respectivo dosificador y en cada una de ellas se almacena un tipo de agregado como gravillas (1/2", 3/4", 3/8"), triturados, arena de peña y arena de río. Los dosificadores son vibradores de tipo electromagnético con control de descarga a través de cilindros neumáticos. Ver Figura 8.
- Banda de pesaje: Su función es recibir los agregados que dosifican las tolvas, controlar el peso y transportarlos hasta el skip. Esto gracias a que la banda esta sostenida por seis (6) celdas de pesaje.

Figura 7. Equipos para el proceso de tamizado



Figura 8. Equipos para dosificación y pesaje de agregados



- Skip: Es un equipo de transporte que se encarga del suministro de agregados a la mezcladora; se compone de un balde metálico de 1.5 m³ de capacidad el cual se desplaza sobre rieles tirado por una guaya de acero. Recibe los agregados de la banda de pesaje y los descarga en la mezcladora, que se encuentra aproximadamente a 12m sobre el nivel del piso.

- Mezcladora de concreto: Es de tipo eje vertical, con capacidad para 1.5m³ de concreto. Recibe todos los agregados provenientes del skip, el cemento a través de los tornillos transportadores y el agua requerida inyectada a alta presión. El movimiento giratorio se logra a través de 2 motores de 30 Hp, 2 engranajes de entrada y un engranaje de salida. Se puede observar en la Figura 9, que internamente tiene dos juegos de aspas para mezclar el concreto; es una parte de la mezcladora que presenta bastante desgaste ya que los componentes internos están expuestos al concreto en su ciclo de mezclado, por tal motivo hay que cambiar constantemente las paredes y las aspas para mantener la máquina en buen estado. La mezcladora tiene una compuerta en la parte inferior, para que, una vez se tenga la mezcla lista se descargue en el cubo móvil.

Figura 9. Mezcladora de concreto



- Tornillo sin fin de cemento: El cemento almacenado en los silos, es transportado a través de tornillos sin fin helicoidales hasta la mezcladora, como se ve en la Figura 10. Se tienen 4 silos con sus respectivos tornillos sin fin, estos son de 15cm de diámetro y longitudes de 8m a 14m. Su capacidad fluctúa entre 20 Tn/Hr y 30 Tn/Hr, dependiendo del ángulo de inclinación del transportador.
- Tolvas para pesaje de cemento: Es un deposito cilíndrico metálico soportado por tres celdas de carga tipo S, con capacidad para 600Kg de cemento, provisto en la parte inferior de una válvula de descarga tipo lenteja accionada neumáticamente y un vibrador neumático adherido a la pared externa de la tolva para garantizar el vaciado. Esta tolva esta conectada por la parte superior a un tornillo sin fin mediante una membrana de caucho y por la parte inferior con la mezcladora. Ver Figura 11.

Figura 10. Silos y tornillos transportadores



Figura 11. Tolvas para pesaje de cemento



- Cubo móvil: El cubo móvil un equipo que recoge la mezcla proveniente de la mezcladora y la lleva hasta las máquinas que la requieren, se desplaza suspendido sobre rieles a lo largo de la planta; el equipo se compone de dos cabinas motrices, un sistema de control de giro o de descarga, y un sistema de control de posicionamiento. Ver Figura 12.

Figura 12. Cubo móvil



Proceso de vibrocompactación. Lo compone básicamente las máquinas para fabricación tubería y las máquinas para fabricación de accesorios y prefabricados para mobiliario urbano.

- Máquina VihyFleximatic: En esta máquina de origen danés se fabrica tubería tipo 1, de 15cm a 60cm de diámetro por 1,25m de largo. En ellas es posible fabricar 3 tubos por ciclo hasta 30cm de diámetro. Se cuenta en la planta de Cota con tres de estas máquinas cuyo sistema de operación es completamente controlado por PLC. La mezcla que recibe del cubo móvil se deposita en el sistema de alimentación de la máquina compuesto por una tolva de 3m³ de capacidad y una banda alimentadora el cual llena los moldes montados en el bastidor de la máquina, la que a su vez los somete a vibración y compresión para conformar a la tubería. Ver Figura 13.

Figura 13. Máquina VihyFleximatic



- Máquina Modul 250/360: En esta máquina de origen danés se produce tubería tipo 2, de 60cm a 360cm de diámetro por 2.75m de longitud simple o reforzada. Para tubería reforzada se requiere de una malla o armadura circular que se fabrica en una máquina llamada MBK la cual se describirá mas adelante. La máquina Modul al igual que todos los equipos de vibrocompactación reciben la mezcla del cubo móvil en la tolva dosificadora, que se encarga de llenar el molde que está ubicado entre el foso y el núcleo, el que a su vez está montado sobre un soporte vibratorio compuesto por un plato, un vibrador y una cruceta de base. Por medio de este sistema la vibración se agiliza el llenado y se eliminan las inclusiones de aire en la mezcla y por medio del brazo basculante que porta el anillo de perfilar se aplica compresión cuando el molde está lleno. Luego el molde junto con el tubo es extraído con el puente grúa y trasladados hasta la zona curado donde se desmolda y se alista nuevamente el molde con su anillo de base y armadura para reiniciar el proceso de fabricación de un nuevo tubo. Ver Figura 14.
- Máquina Betodan. Se usa para la fabricación de prefabricados también de origen danés, se compone de una tolva alimentadora, una mesa vibradora, una prensa y sistema de control del ciclo por PLC. En esta máquina se

fabrican arotapas (prefabricado de concreto que reemplaza la antigua tapa metálica para alcantarilla), pozos rectos y cónicos de inspección, bordillos y accesorios especiales para tubería, Como equipo de apoyo para la fabricación en este equipo se utilizan dos puente grúas uno de 3.2Tn para extraer el molde con el prefabricado y otro de 6.3Tn para trasladar el prefabricado a la zona de curado. Ver Figura 15.

Figura 14. Modul 250/360



Figura 15. Betodan



- Mesas Vibratorias. Son máquinas para elaboración de prefabricados, las mesas tienen el mismo principio de funcionamiento que la Betodan pero son mas manuales y los productos fabricados aquí son de menor tamaño y peso, los productos se retiran con el uso de carros transportadores manipulados por los operarios. Ver Figura 16.

Figura 16. Mesas Vibratorias



- Máquina Columbia: Con esta máquina se produce bloque en cemento para la construcción y adoquín para vías peatonales o vehiculares. Esta máquina puede recibir mezcla del sistema Skako, pero tiene también su mezcladora y silo independientes para fabricaciones especiales o en cualquier caso para mayor autonomía en momentos críticos o picos de producción elevados Tanto la máquina como su línea de producción hacen parte de una alianza estratégica con otra empresa líder del mercado en Antioquia por esto el tratamiento de este equipo en cuanto al mantenimiento y la operación no depende directamente de la Empresa. En la Figura 17 se muestra la máquina, cabe anotar que es bastante antigua a la que se han hecho algunas adaptaciones a nivel hidráulico y eléctrico, de la cual no se tienen historial de fallas que permitan implementar planes de acción efectivos si no mas bien medidas de choque

Figura 17. Máquina Columbia



- Máquina Longinotti: Esta máquina produce losetas en cemento tipo bicapa de 40cm por 40cm por 6cm de espesor, para uso peatonal en andenes y alamedas de la ciudad, es un equipo de origen italiano y su funcionamiento es totalmente independiente o autónomo del resto de equipos, pues tiene su propio equipo para fabricación de mezcla. Se compone de: un sistema independiente para dosificación de agregados y de cemento para mezcla húmeda y mezcla seca para conformar las dos capas de cemento en la loseta, una tornamesa de siete estaciones en las cuales se cumplen actividades de llenado, vibración, preprensado, prensado y desmolde, y un equipo automático para extraer y estibar la loseta. Los diferentes estampados de las losetas los proporcionan los fondos de caucho así como el logo de TITÁN. Esta máquina tiene también su propio silo de cemento como también sus tornillos sin fin para transporte del mismo y su sistema de pesaje u control de mezclado. En la Figura 18 se muestran las partes principales de la máquina.

Figura 18. Máquina Longinotti



Proceso de transporte de prefabricados: Lo compone básicamente las máquinas que realizan el movimiento de prefabricados, como puentegrúas y carros transportadores.

- Puentegrúas: Son equipos que se utilizan para el izaje de moldes y producto terminado en las actividades de desmolde y traslado del prefabricado a las zonas de curado. La planta cuenta con 3 puentegrúas de 12.5 Tn cada uno para manipulación de tubería tipo 2, y uno de 6.3 Tn para asistencia de la máquina Betodan. Ver Figura 19.
- Carros transportadores: Son equipos usados para el manejo de prefabricados hasta de 450 Kg, y se utilizan para el traslado del prefabricado desde la mesa vibratoria hasta la zona de curado donde adicionalmente se hace el desmolde.

Figura 19. Puente grúas



En la Tabla 1, aparece el listado de equipos que interviene en el proceso de transporte de prefabricados.

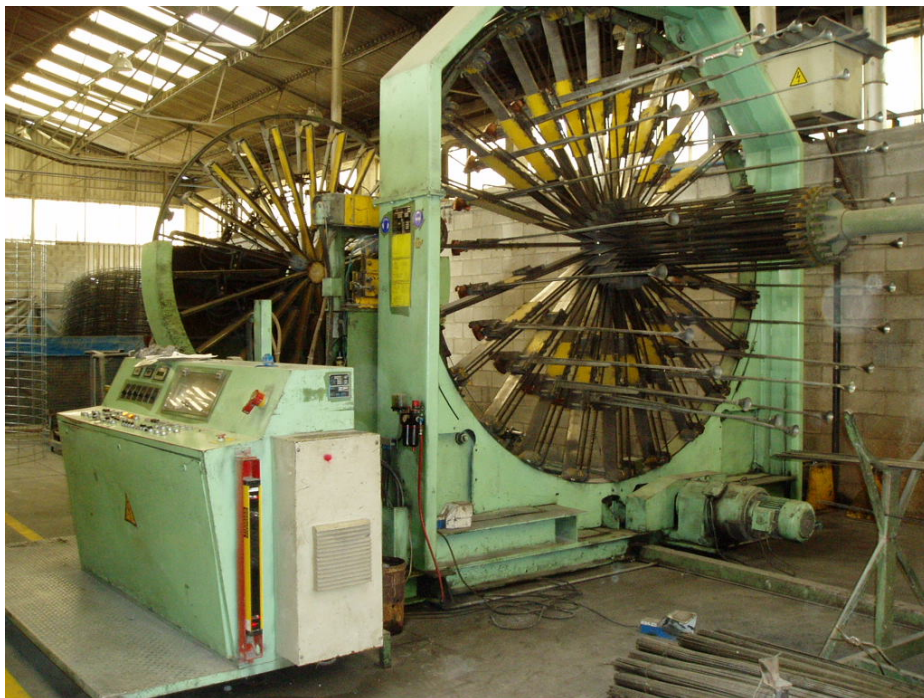
Tabla 1. Listado de equipos para el transporte de prefabricados

TRANSPORTE PREFABRICADOS		4
PUENTE GRUA 12.5 TON 1	PTE	01
PUENTE GRUA 12.5 TON 2	PTE	02
PUENTE GRUA 6.3 TON 3	PTE	03
PUENTE GRUA 3.2 TON	PTE	04
PUENTE GRUA 5 TON	PTE	05
PESCANTE TEJAS 1 TON	PES	06
PESCANTE MBK 1 TON	PES	07
PORTICO SARDINEL 2 TON	POR	08
FLEXICAR 3 TON	FXC	09
FLEXICAR 3 TON	FXC	10
FLEXICAR 1 TON	FXC	11
VIHYCAR 1 TON	VYC	12
CARRO TRANSP. PRELOSAS	CAR	13
PUENTE GRUA 12.5 TON 3	PTE	14

Proceso de fabricación de armaduras

- Máquina M.B.K.: Es una máquina de origen alemán, su función es fabricar mallas cilíndricas en varilla trefilada mediante el proceso de soldadura por resistencia. El proceso de fabricación de la armadura se compone básicamente de la espiral que se forma, al envolver las varillas longitudinales, por efecto del giro de una rueda motriz que hala un carrete alimentador de varilla. Todo este proceso se controla a través de un PLC. Ver Figura 20.

Figura 20. Máquina M.B.K



Moldes para el proceso de fabricación. Lo componen moldes externos, núcleos, anillos de base, anillos de perfilar y anillos de vibración para la fabricación de los diferentes diámetros de tubería, como también las formaletas y accesorios requeridos para la fabricación de prefabricados y/o accesorios. Es importante anotar que el valor de estos elementos constituyen un alto porcentaje del mismo valor del equipo y como es apenas normal estos componentes en contacto directo con el producto están sometidos al desgaste excesivo y se convierten en eslabones críticos a la hora de mantener la cadena de producción libre de fallas por desgastes o roturas, por tal motivo un área del taller industrial tiene dedicación exclusiva para el mantenimiento de estos elementos.

Equipos para el área de servicios.

Equipos para generación y distribución eléctrica. Lo componen en su orden, las redes de suministro eléctrico de alta tención 34.5 KV, la unidad de medida, un seccionador, dos Transformadores de 800KVA (34.5KV / 440V) para la planta de producción y un transformador de 75KVA (34.5KV / 440V) para el edificio de administración, una planta de emergencia de 500KVA con su trasferencia automática y el tablero de distribución donde se ubican los bancos de condensadores y breakers de seguridad para todos los equipos de la planta. Ver. Figura 21.

Equipos para suministro de vapor. Se compone de 2 calderas de 100 BHP marca Continental modelos 84 y 95 cada una las cuales generan vapor mediante la combustión de crudos pesados y lo suministran a través de las redes internas de la planta para efectuar el proceso de curado de producto en proceso. Ver. Figura 22.

Equipos para suministro de aire. Esta compuesto por 3 compresores tipo tornillo, marca JOY de 100 CFM cada uno. Ver Figura 23.

Figura 21. Subestación y planta eléctrica



Figura 22. Calderas



Figura 23. Compresores



Equipos para suministro de agua. El sistema lo compone un pozo profundo, un equipo hidroneumático de 12 HP, un tanque elevado de almacenamiento y un reservorio con capacidad de 2000m³. Ver Figura 24.

Equipos para pesaje. Aquí podemos encontrar la báscula de pesaje de materia prima de 100 Tn, las básculas para pesaje hasta 100Kg utilizada en los procesos de fabricación manual y algunas balanzas de laboratorio. Ver Figura 25.

Equipos para suministro de combustible. Se cuenta con 2 surtidores de combustible de A.C.P.M y gasolina. Ver. Figura 26.

Figura 24. Pozo profundo, reservorio y cuarto de bombas respectivamente



Figura 25. Bascula de pesaje



Figura 26. Surtidores de combustible



Silos de cemento y tanques para almacenamiento. La planta cuenta con 6 silos para almacenamiento de materiales cementantes, 2 de 60 Tn, 1 de 120 Tn, 1 de 350 Tn, 1 de 42 Tn y 1 de 72 Tn. Como también los tanques para almacenamiento de combustibles A.C.P.M. , Gasolina y crudo pesado. Ver figura 27.

Figura 27. Depósito combustible para caldera



Equipos del área automotriz.

Montacargas: Se tienen 16 Montacargas para el movimiento de producto en proceso y para el movimiento de producto terminado, las capacidades de estos van desde 3 Tn hasta 40 Tn y se caracterizan por el tipo de combustión diesel. Ver Figura 28.

Cargadores: Se tienen 2 cargadores, uno de 2m³ de capacidad marca Komatsu y otro de 0.25m³ marca Bobcat 853 que se usan para el movimiento de agregados y labores de aseo respectivamente. Ver Figura 29.

Tractomulas: Se cuenta con 4 tractomulas de las cuales 3 son para transporte de materia prima y una para el transporte de producto terminado. Se cuenta también con un camión sencillo con capacidad de 8 Tn para el transporte de producto terminado.

Vehículos: A cargo de esta área también se tienen 2 camionetas tipo estaca de 1Tn de capacidad para el servicio de mensajería de la compañía.

Tabla 2. Automotores en uso en la planta de Manufacturas de Cemento

COTA		1	
AUTOMOTRIZ		3	
MONTACARGAS		1	
HYSTER 7	MON	07	
HYSTER 12	MON	12	
KOMATSU 13	MON	13	
KOMATSU 14	MON	14	
KOMATSU 15	MON	15	
KOMATSU 16	MON	16	
HYSTER 17	MON	17	
HYSTER 18	MON	18	
HYSTER 19	MON	19	
HYSTER 21	MON	21	
HYSTER 22	MON	22	
HYSTER 23	MON	23	
HYSTER 24	MON	24	
HYSTER 25	MON	25	
HYSTER 26	MON	26	
HYSTER 27	MON	27	
CARGADORES		2	
CARGADOR KOMATSU	CAG	02	
BOBCAT M - 853	CAG	07	
TRACTOMULAS		3	
MACK UFP-046	TRA	01	
MACK UFP-629	TRA	02	
MACK UFP-630	TRA	03	
MACK SUK-321	TRA	04	
INTERNACIONAL TRB-341	CAM	05	
AUTOMOVILES		4	
TOYOTA HYLUX	CTA	01	
TOYOTA HYLUX	CTA	02	

Figura 28. Montacarga



Figura 29. Cargador



Equipos área taller industrial.

En el área industrial se encuentran las diferentes máquinas y herramientas de taller como tornos, taladro vertical, limadora, equipos de soldadura, sierras, etc.

Equipos área de laboratorio.

En el laboratorio se encuentran las prensas de ensayo, calibradores, galgas, básculas, mezcladoras de ensayo y equipo para medición.

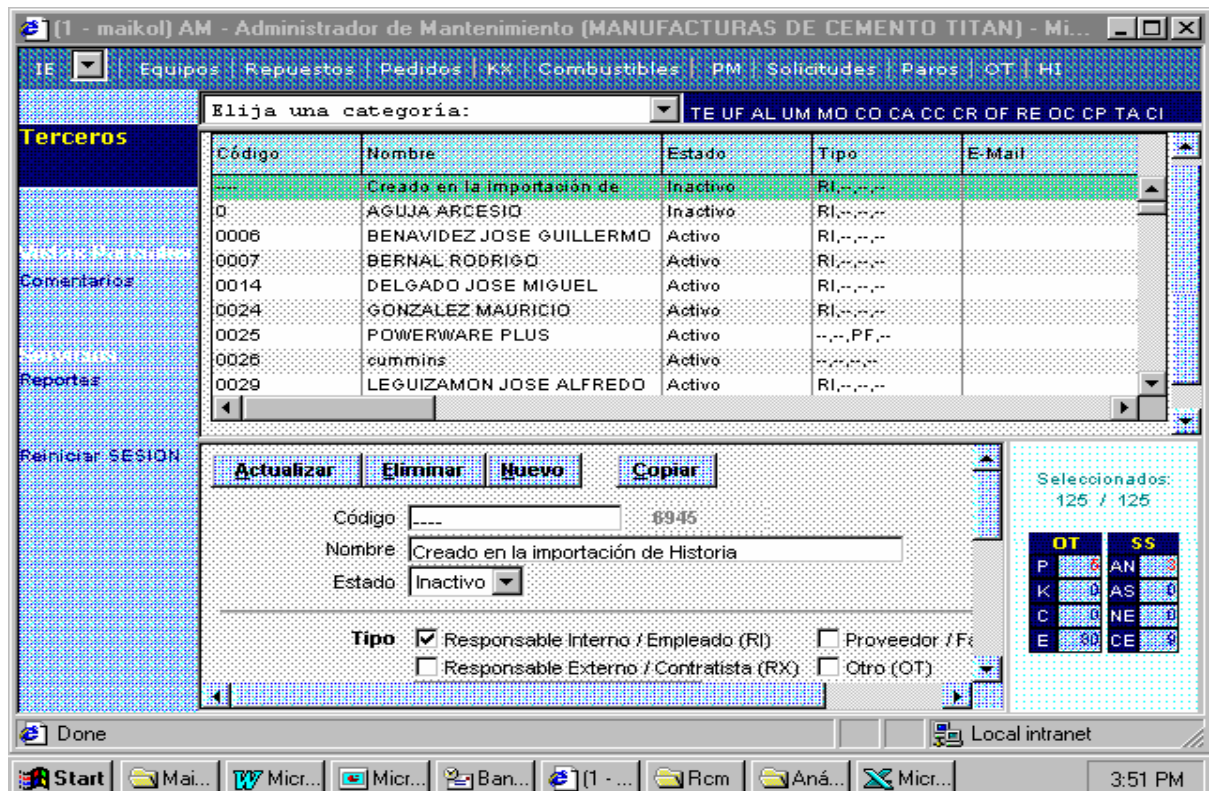
Área edificaciones

Finalmente la infraestructura de la planta pertenece al área de edificaciones de la cual hacen parte la planta de fabricación, el edificio administrativo, el edificio de despachos, el patio de almacenamiento, las vías de acceso y la portería.

1.3.6 Sistema de información: El área de mantenimiento de la compañía cuenta con Sistema de Información de Mantenimiento (SIM) llamado AM (Administración del Mantenimiento). A continuación una breve descripción:

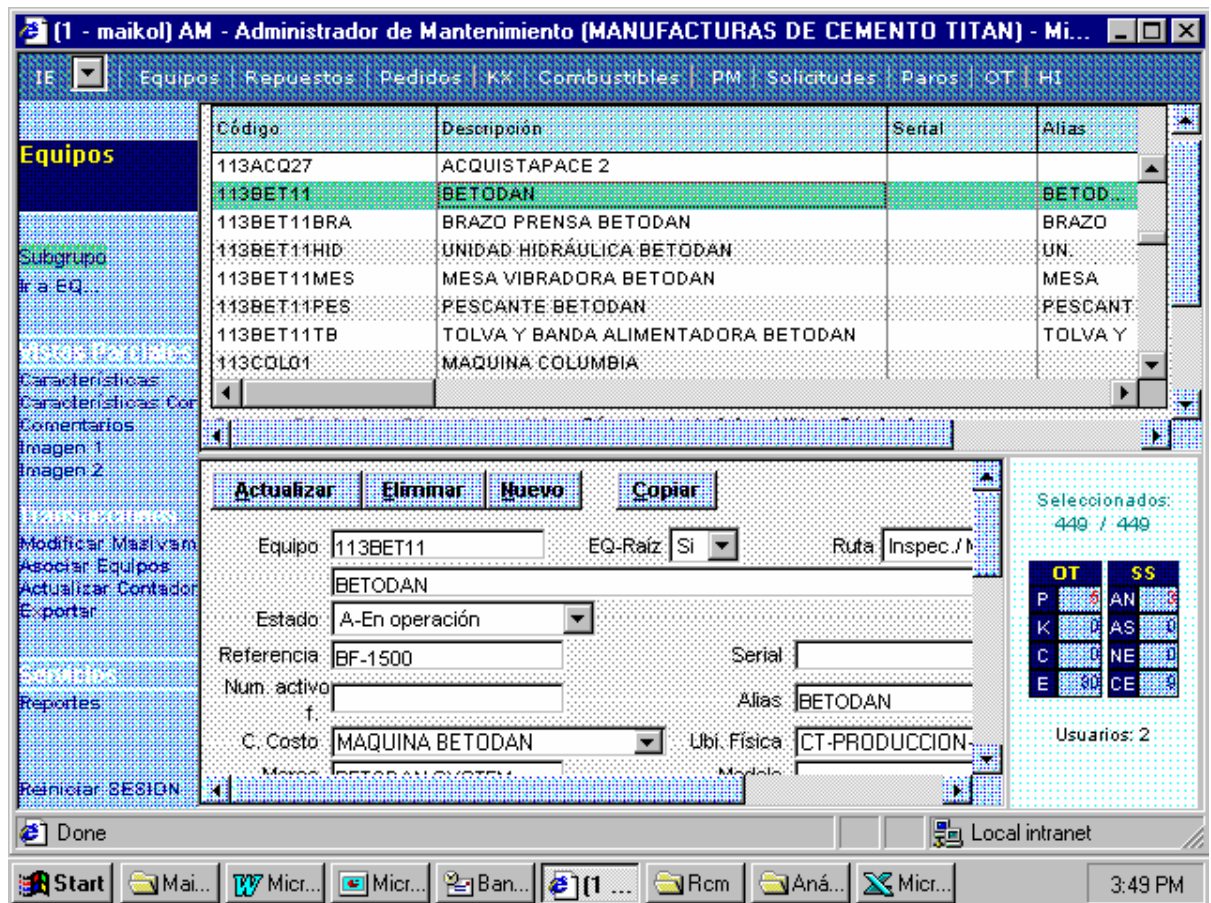
- **Infraestructura:** Este entorno tiene diferentes sub-menús para personalizar el programa ingresando información como: moneda, centros de costo, nombres y características del personal de mantenimiento, proveedores externos, unidades de medida, los modos de falla, códigos de reparación y actividades de mantenimiento. Cabe anotar que en el submenú de terceros se definen las personas que influyen directamente en el mantenimiento y que afecta directamente el costo de mano de obra. Ver Figura 30.

Figura 30. Pantalla del AM, entorno Infraestructura, submenú Terceros



- **Equipos:** Es en este entorno donde se ingresa la información detallada de los diferentes equipos que tiene la Compañía, sobre los cuales se hacen los programas y planes de mantenimiento. Es también donde se tienen las fichas técnicas con toda la información necesaria para identificar una máquina como serial, nombre, ubicación física, centro de costo, tipo de contador, etc. Unas de las partes más importantes de este entorno es que permite actualizar los datos de los odómetros con los cuales se programan las tareas y permite definir las características de los diferentes equipos. Ver Figura 31.

Figura 31 Pantalla del AM donde se muestra el entorno Equipos



- **Repuestos:** En esta parte se manejan todos los repuestos de los equipos definidos anteriormente, el programa tiene capacidad para manejar los inventarios que a través de una plataforma o interfase que se comunica con el programa administrativo llamado Macola. Por tanto en AM se ingresan los repuestos consumidos en cada una de las órdenes de trabajo para obtener el costo respectivo.

- Pedidos: Es un entorno enfocado al manejo de inventarios, a los pedidos que se hacen al almacén para las diferentes máquinas, pero como esto se hace con otro programa el módulo no se usa actualmente.
- Kardex: Es un entorno para los movimientos de los repuestos dentro de las diferentes tareas de mantenimiento, pero igual que el entorno anterior no se usa pues hay otro programa manejando esta información. Cabe anotar al respecto que la información de este programa se inclina más a la parte contable que a la gestión del mantenimiento.
- Combustibles: En este entorno, como su nombre lo dice, se manejan los diferentes combustibles que se usan en la planta. Es un entorno que no se usa actualmente pues los combustibles igualmente se tratan como salidas de almacén y son controlados con el programa contable Macola, se ha planteado el manejo de este entorno pero no se han definido los parámetros para hacerlo, pero para mantenimiento sería una información valiosa pues el consumo de combustible es un indicador en determinados momentos del estado de un equipo, además que si se tiene un control estricto de estos consumos se puede tener un ahorro sustancial a corto plazo.
- Planes de mantenimiento: Es la parte donde se generan, modifican y controlan las diferentes actividades de mantenimiento, por supuesto este es el fuerte de este programa y es quien al final de este trabajo modificará o incluirá tareas provenientes de los planes para mejorar la gestión del mantenimiento en Manufacturas. Esta parte del programa junto con el entorno Historia que describimos a continuación, permitirán definir las diferentes características de los planes de mantenimiento, la descripción de las tareas, la frecuencia, los repuestos asociados, los responsables, los comentarios que se deben anexar, al equipo al cual se le va a ejecutar la Orden de Trabajo resultante, etc.
- Solicitudes: Es un entorno que se usa bastante en la empresa, y es para canalizar todas las solicitudes que se hacen en las diferentes áreas de la compañía. Cada uno de los supervisores de planta o funcionarios de otras áreas proponen a través de este mecanismo las tareas o requerimientos que luego son sometidas a aprobación. Es posible hacer uso de esta módulo ya que el Software AM trabaja en la red, donde se han creado los usuarios.
- Paros: En este entorno quedan consignados y se definen los diferentes fallos que ocasionaron paros de los equipos con sus motivos, causas y

consecuencias, los cuales constituyen una base de datos que a futuro será de gran ayuda para toma de decisiones.

- Ordenes de trabajo (OT): En este entorno es donde se generan y se consultan las diferentes OT en curso. Hay algunas que son generadas automáticamente por el programa como consecuencia de los planes de mantenimiento (PM), como también las que se generan por solicitudes que han sido aprobadas previamente. Sin embargo hay algunas tareas que no tienen una programación definida y son labores como reparaciones necesarias no programadas o mantenimientos correctivos que se hacen como OT manuales. En conclusión en este entorno se pueden crear, consultar y modificar las OT para programar los trabajos de mantenimiento, por supuesto es uno de los entornos más usados. Ver formato usado en Anexo A.
- Historia: Es de los entornos más usados para consulta, sirve para conocer el comportamiento de la maquinaria y para extraer información de las diferentes tareas ejecutadas. Todas las OT que han sido generadas y ejecutadas quedan guardadas en esta gran base de datos, que contiene a la fecha unos 12000 registros de los últimos 3 años. Para hacer los seguimientos y la planeación del mantenimiento este tipo de historiales se constituye en una gran herramienta para la toma de decisiones. En este entorno del historial se pueden generar hasta 40 reportes diferentes y se aprovecha para generar desde allí la información básica para presentar los indicadores. Cabe anotar que AM provee los datos automáticamente para generar desde un formato unificado por el plan de calidad de la Compañía, tales como: cantidad de OT ejecutadas, pendientes, etc. Más adelante en el capítulo de indicadores se mostrará como se calculan y para que sirven éstos en la gestión del mantenimiento.

1.3.7 Distribución de Planta

En este espacio se encuentra el patio de producción, el taller industrial, el taller automotriz, el almacén y las oficinas de producción, dependencias necesarias para el buen funcionamiento de la planta.

1.4 DIAGNÓSTICO

Con el objeto de describir el estado actual y el estado final deseado en cuanto al manejo administrativo de mantenimiento en Manufacturas de Cemento S.A., se hace un recuento del ambiente en el que se desenvuelve esta área, a partir de la cual se reflejan falencias, problemas o dificultades para plantear como solución una propuesta para mejorar los resultados.

1.4.1. Organización. El área mantenimiento se subdivide en 6 ramas operativas encabezadas por el jefe de mantenimiento, el cual es el encargado de dirigir el área de mantenimiento, donde se planean, coordinan, ejecutan y controlan todas las tareas para garantizar el buen funcionamiento de la planta.

- **Tecnólogo de proyectos:** Es la persona encargada de diseñar mecanismos para mejoras de los equipos, hacer los levantamientos para nuevos montajes y hacer los diseños de formaletas para nuevos prefabricados entre otros.
- **Programador de mantenimiento:** Es la persona encargada de manejar el software de mantenimiento, cuya base de datos es una parte importante para la programación de mantenimiento y para el estudio de indicadores.
- **Mantenimiento industrial:** División de mantenimiento que cuenta con un supervisor, 8 mecánicos industriales, dos mecánicos operarios de caldera y un pintor, como integrantes del equipo de mantenimiento industrial.
- **Mantenimiento eléctrico:** En mantenimiento eléctrico se cuenta con un supervisor y 3 electricistas.
- **Mantenimiento automotriz:** Dependencia necesaria por el volumen de automotores que operan en la planta, dentro del cual se cuenta con un supervisor, 2 mecánicos y 2 ayudantes.
- **Taller industrial:** Esta es una dependencia del Departamento de Mantenimiento creada bajo la necesidad de dar apoyo a la sección de mantenimiento industrial, reconstruyendo, maquinando o fabricando localmente ciertas piezas de desgaste de acuerdo a un previo análisis de factibilidad técnico-económica. Dentro de este taller se encuentran máquinas como tornos, taladro, limadora, esmeriles, equipos de soldadura, etc. El taller industrial lo componen: un supervisor, tres soldadores calificados, dos torneros y dos ayudantes.
- **Mantenimiento de moldes:** Esta dependencia se encarga del mantenimiento de los diferentes moldes para fabricación de todos los prefabricados, como también de hacer el alistamiento del equipo correspondiente para efectuar los cambios de molde en las máquinas, por tal motivo su función obedece más al área de producción quienes les programan los cambios de molde de acuerdo al programa de producción; el área de mantenimiento solo se limita

a reponer las partes de desgaste y a recomendar prácticas efectivas de reparación más convenientes para restituir la función de los moldes. En esta sección trabajan dos soldadores calificados y dos técnicos de montaje de molde.

Con esta organización se cuenta actualmente para apoyar el proceso de producción y/o funcionamiento de la planta, apoyados por el software para manejo de información de mantenimiento llamado AM, con el cual se elaboran las OT¹ programadas y las no programadas (éstas últimas denominadas también OT manuales), de tal forma que se pueda llevar un control del histórico a cada una de las máquinas, costear las actividades y extraer datos para los indicadores.

1.4.2 Procesos de mantenimiento. La interacción de este programa con el entorno se señalará en los siguientes apartes junto con una breve explicación de los procesos de mantenimiento que se presentan en la planta.

- **Mantenimiento preventivo:** El proceso de mantenimiento preventivo se origina en las inspecciones mecánicas y eléctricas como también en los mantenimientos programados con base al historial de fallas y a las observaciones de mejora que anotan en las mismas inspecciones los mecánicos (ver formato de inspección en Anexo B). En cuanto a la forma y la frecuencia para ejecutar las inspecciones a cada equipo es de anotar que se generan automáticamente por el software pero usando el criterio de turnos de trabajo programados para cada uno de ellos y definidos a criterio del programador. También se presenta el caso en que los mantenimientos preventivos para cada máquina se programan por periodos mensuales, quincenales o semanales dependiendo de la recomendación del fabricante de la máquina, en cuyo caso y de acuerdo con la sección de producción se reservan los días de paro de equipo en que se efectuarán los diferentes mantenimientos. En cualquiera de los anteriores eventos y luego de realizar el trabajo los mecánicos diligencian manualmente los campos vacíos de la OT tales como los nombres de los operarios involucrados en el trabajo, el tiempo que tardó el trabajo en reportarse y en ejecutarse, los comentarios, etc.
- **Mantenimiento correctivo:** En los casos en que surgen imprevistos que obligan parar la máquina afectada o simplemente cuando aparece una condición anormal sin que salga de servicio el equipo, los mecánicos atienden al llamado por radio (medio de comunicación entre supervisores de la planta), para asistir a la máquina afectada. Hechos los trabajos necesarios para ponerla nuevamente en funcionamiento llenan la OT

¹ Orden de trabajo, formato en el que se reportan las tareas de mantenimiento para ejercer un control y una programación de éstas.

manualmente, especificando la actividad, tipo de mantenimiento, repuestos, tiempo de intervención y de parada de equipo. Toda esta información reportada en la OT, llega a manos del jefe de mantenimiento y luego al programador quien finalmente la ingresa a la base de datos de cada máquina con las acciones tomadas para efectos de programación de futuras tareas.

- **Mantenimiento predictivo:** El mantenimiento predictivo no tiene una periodicidad fija de aplicación en la planta y no está muy definido, no se tiene un plan para este tipo de práctica y esto puede ser parte de este trabajo buscando una metodología de la cual haga parte.
- **Indicadores de mantenimiento:** Del sistema de información se generan los datos base para la presentación de indicadores, los cuales se enfocan a la gestión del mantenimiento como también a la ejecución y costo de mismo, pero es necesaria la implementación de indicadores que se enfoquen hacia la función del equipo como es la confiabilidad de estos.

1.4.3 Documentación técnica. También como resultado se pretende hacer una revisión y recopilación de información útil respecto a la maquinaria, la que a través de los años ha podido cambiar debido a las constantes modificaciones internas en cuanto a nuevos métodos de producción y de mantenimiento, nuevos equipos y mejoramiento de mecanismos. Por tanto se pretende tener una carpeta con información de cada una de las máquinas con 4 archivos básicos como son:

- **Información Técnica:** Dentro de este archivo de Excel se presentan características del equipo como planes de mantenimiento incluidos en el AM², un despiece general de la máquina para conocer los componentes principales, una tabla con los motores eléctricos que usa el equipo, una tabla con los rodamientos que están dentro de la máquina, una tabla con los lubricantes usados y un diagrama de Pareto con la distribución de las fallas que se han presentado en los últimos años.
- **Mantenimiento:** Archivo de Excel con todas las tareas de mantenimiento programadas para el equipo.
- **Análisis FMEA:** Este Análisis de Modos y Efectos de Fallas es vital dentro del contexto RCM, la cual será una herramienta a implementar para la gestión y el mejoramiento de mantenimiento usada en la actualidad por la industria.
- **Confiabilidad:** Un archivo de excel que contenga cálculo de confiabilidad por los diferentes métodos propuestos en este trabajo

Teniendo en cuenta este manejo del mantenimiento se mostrará los cambios planteados y se mostrarán las diferentes acciones a tomar al respecto.

² Programa con que se maneja la base de datos de mantenimiento en Manufacturas de Cemento S.A.

Adicionalmente a las medidas implementadas, pretendemos como resultado que el grupo de trabajo funcione mucho mejor como equipo multidisciplinario. Ver diagrama de flujo área de mantenimiento en Anexo C.

2. MODELOS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado a través de tres generaciones. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es la piedra angular de la tercera generación. Sin embargo, la tercera generación puede verse solamente en la perspectiva de la primera y segunda generación.

2.1 RESEÑA HISTÓRICA

2.1.1 Primera generación. La primera generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera fiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

2.1.2 Segunda generación. Durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido máquinas de todo tipo y cada vez más complejas. La industria había comenzado a depender de ella.

Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más latente. Esto llevó a la idea de que las fallas de la maquinaria se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del “*Mantenimiento Preventivo*”. En el año de 1960 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos.

Este coste de mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar “*Sistemas de Control y Planificación de Mantenimiento*”. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

2.1.3 Tercera generación. Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en la industria ha cobrado velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de “nuevas expectativas, nueva investigación y nuevas técnicas”.

Nuevas expectativas. En la Figura 32, se muestra cómo han evolucionado las expectativas de las funciones del mantenimiento; el crecimiento continuo de la

mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, coste total y servicio al cliente. Esto se hace más latente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de *stock* en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento.

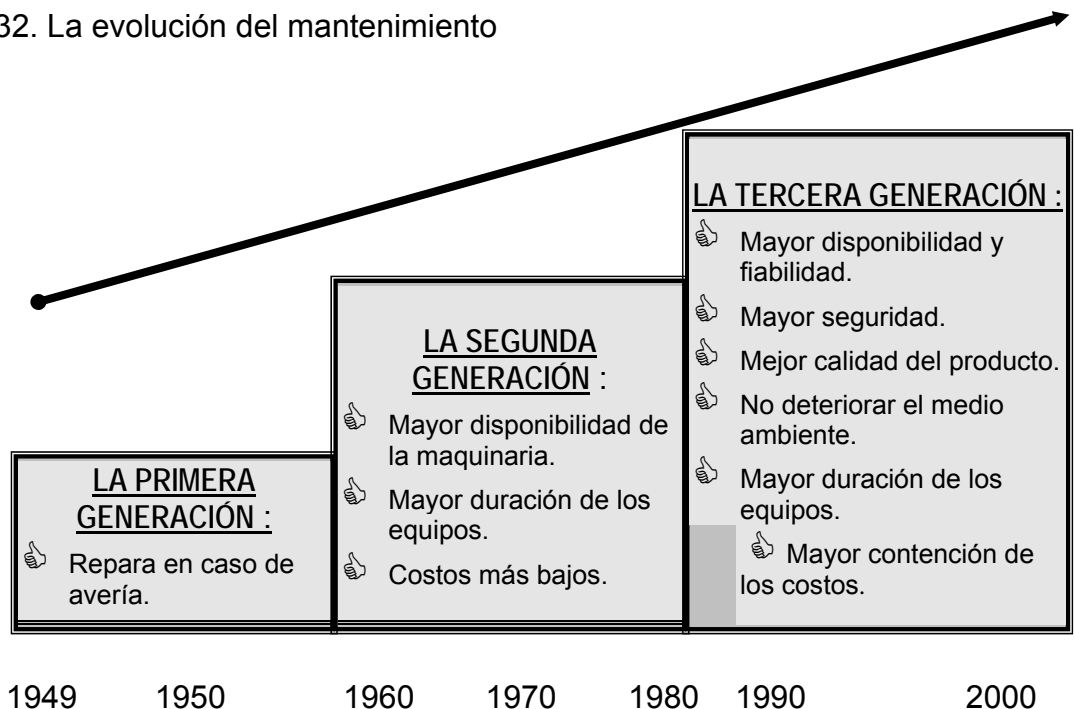
Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la máquina y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función mantenimiento.

Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una planta para la seguridad y/o el medio ambiente. Al mismo tiempo los estándares en estos dos campos también están mejorando en respuesta a un mayor interés del personal gerente, los sindicatos, los medios de información y el gobierno.

Finalmente, el coste de mantenimiento todavía está en aumento, en términos absolutos y en proporción a los gastos totales. En algunas industrias, es ahora el segundo gasto operativo de coste más alto y en algunos casos incluso el primero.

Como resultado de esto, en solo treinta años lo que antes no suponía casi ningún gasto se ha convertido en la prioridad de control de coste más importante.

Figura 32. La evolución del mantenimiento



Nueva investigación. Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando nuestras creencias básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva una máquina funcionando y sus posibilidades de falla.

La Figura 33 muestra cómo el punto de vista acerca de las fallas en un principio era simplemente que cuando los elementos físicos envejecen, tienen más posibilidades de fallar, mientras que un conocimiento creciente acerca del desgaste por el uso durante la segunda generación llevó a la creencia en la “*curva de la bañera*”. Sin embargo, la investigación hecha por la tercera generación ha revelado que en la práctica actual no sólo ocurre un modelo de falla sino seis diferentes.

Nuevas técnicas. Ha habido un aumento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas del mantenimiento. Se cuentan ahora centenares de ellos, y surgen más cada vez. Estos incluyen:

- Técnicas de “Monitoreo por condición”.
- Técnicas de gestión de riesgos.
- Modos de fallas y análisis de los efectos.
- Fiabilidad y mantenibilidad.

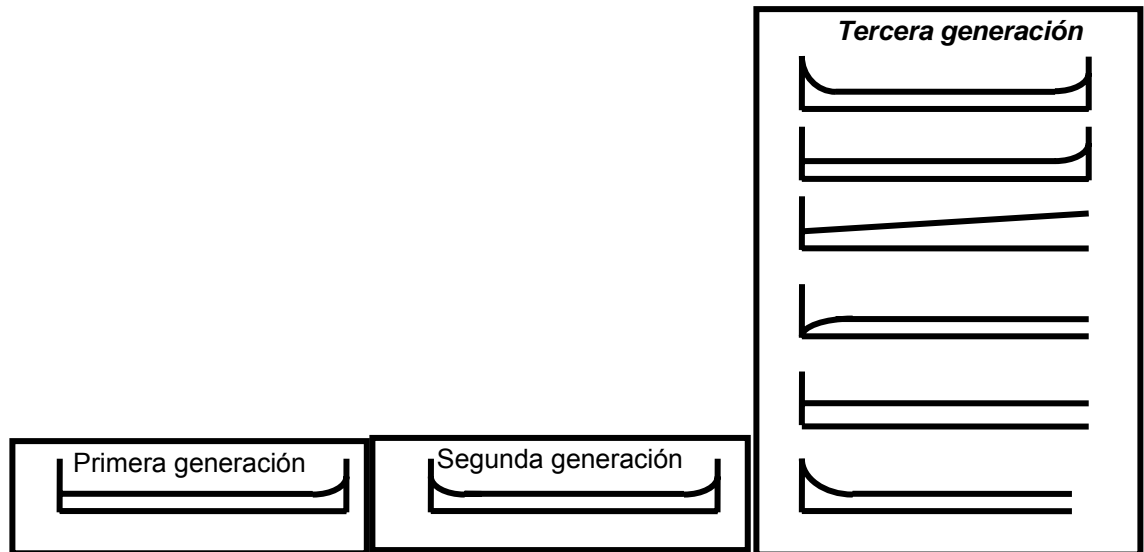
El problema al que hace frente el personal de mantenimiento hoy día no es sólo el aprender cuáles son esas nuevas técnicas, sino también el ser capaz de decidir cuáles son útiles y cuáles no lo son para sus propias compañías.

Si elegimos adecuadamente, es posible que mejoremos la práctica del mantenimiento y a la vez contengamos e incluso reduzcamos el coste del mismo. Si elegimos mal, crearemos más problemas a la vez que haremos más grave los existentes.

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.2.1 Mantenimiento Correctivo. Hasta hace poco, el mantenimiento había sido una ciencia inexacta. Desde la Revolución Industrial, el mantenimiento se ha hecho cuando se necesita, generalmente después de un daño grave que pone a la empresa en un estado de crisis, cuando escasean las buenas herramientas y la disponibilidad de equipos.

Figura 33. Nuevos puntos de vista sobre fallas de los equipos



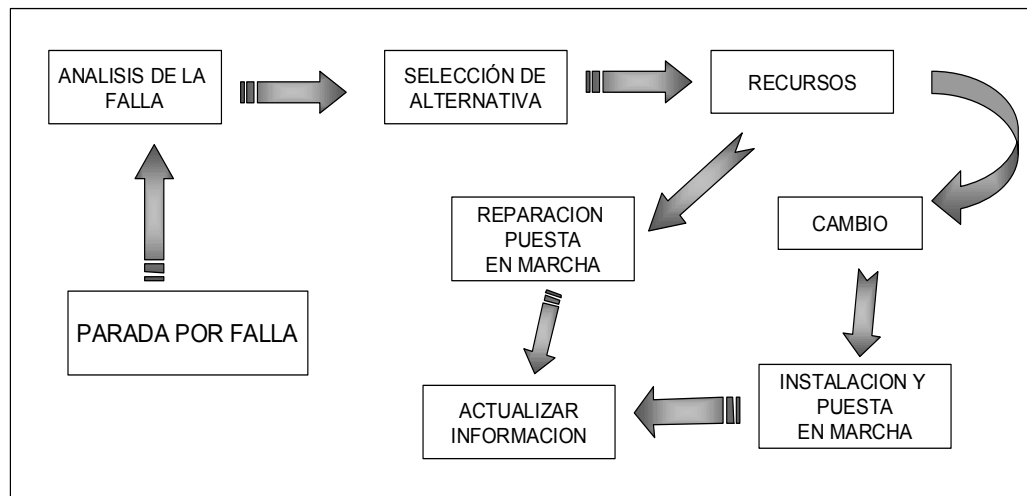
La planeación en época de crisis es muy difícil, por no decir que imposible. Esto es lo que se denomina mantenimiento correctivo. En este caso, la planeación a largo plazo era mantener limpia y lubricada la maquinaria o sea, "echarle ojo" a las máquinas en problemas. Este mantenimiento lo hacen las organizaciones de cortas miras.

Es una actividad de emergencia, que "consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no pueda desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a fallar y así sucesivamente"³.

En otras palabras, el Mantenimiento Correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. Sólo por mencionarlas, algunas de las operaciones que realiza son: el desmontaje y montaje de piezas o conjuntos averiados y su posterior reparación, los ajustes, reglajes, y la reconstrucción de maquinaria, equipo, etc. La forma de operación del mantenimiento correctivo, se puede observar en la Figura 34.

³ GONZÁLEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2002. p.27

Figura 34. Mantenimiento Correctivo



2.2.2 Mantenimiento Preventivo. Es el que se realiza mediante una preparación previa de actividades periódicas programadas con el fin de evitar en lo posible la mayor cantidad de daños imprevistos disminuir los tiempos muertos de producción por fallas y en consecuencia disminuir los costos de la misma.

El objetivo que desea alcanzar el mantenimiento preventivo es una producción máxima del equipo funcionando en óptimo rendimiento, evitando desperfectos, detenciones, pérdidas de la producción a través de un sistema de inspecciones y trabajo de mantenimiento sistematizado, realizando ajustes y/o reparaciones antes de que se produzca una falla técnica que conduzca al mantenimiento en paro o crisis.

La filosofía en que se basa y se desarrolla todo el sistema de mantenimiento preventivo esta dado por el concepto de límite de vida útil en servicio de los distintos elementos componentes del sector de producción y/o expiración de los períodos de habilitación en servicio seguro de dichos elementos.

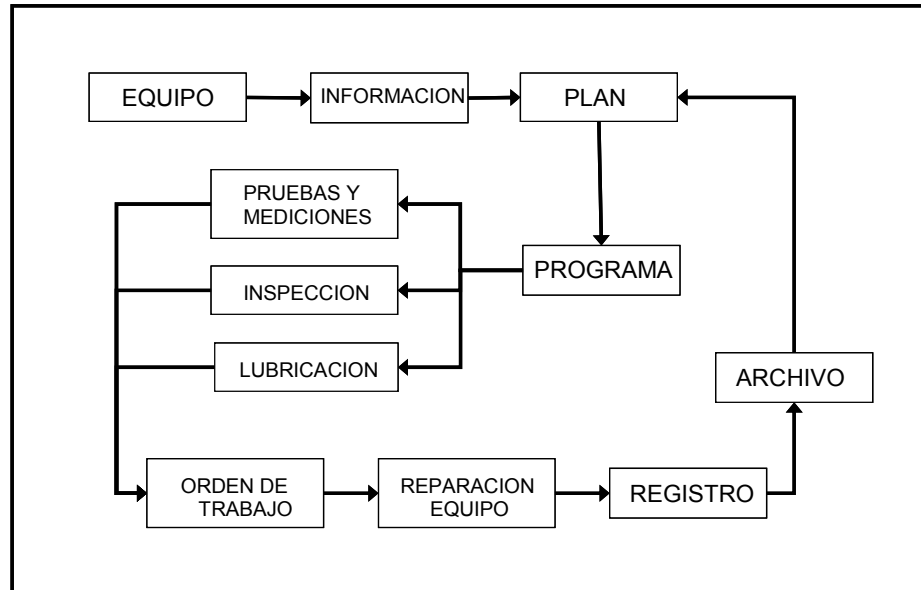
El modelo teórico debe "reflejar una planeación estratégica del área de mantenimiento considerando una visión y misión de la compañía y del área de mantenimiento"⁴, en donde no hay que olvidar que todo proceso productivo llevan involucrados recursos de personal, capital, espacio físico y equipos de transformación de estos dando como resultado un producto o un valor agregado.

El mantenimiento preventivo, más que técnica específica de mantenimiento, es una filosofía que comienza desde el momento del diseño del equipo, y que determina su confiabilidad y mantenibilidad hasta su reemplazo, que se establece cuando sus altos costos de mantenimiento lo justifiquen económicamente.

⁴ TAMAYO, Carlos Mario. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2002. p.104

Para la implantación de esta modalidad de mantenimiento es necesario hacer un plan de seguimiento para cada equipo (Ver Figura 35). En este plan se especifican las técnicas que se aplicarán para detectar posibles anomalías de funcionamiento, y la frecuencia con que se realizarán. Al detectar cualquier anomalía, se estudia su causa y se programa para realizar las reparaciones que correspondan.

Figura 35. Mantenimiento Preventivo



2.2.3 Mantenimiento Predictivo. El desarrollo y avance de la ciencia y tecnología han introducido en la técnica del mantenimiento nuevas herramientas que facilitan el diagnóstico del estado de los equipos y la predicción de las fallas. Un programa de mantenimiento debe contemplar la aplicación de estas tecnologías con el fin de que la función mantenimiento sea más eficiente y eficaz evitando en lo posible las paradas de producción.

Se basa en la medición y monitoreo de todos los aspectos que afecten la vida útil de un elemento; se mide (cada variable) con instrumentos normalmente de tecnología avanzada, lo que implica altos costos de planeación e implementación; pero también es cierto que este efecto de altos costos al inicio se ve altamente compensado con los muy bajos costos del mantenimiento en el largo plazo y muchas veces en el mediano; es el único tipo de gestión de mantenimiento que puede garantizar completamente las fallas imprevistas de elementos y el único que garantiza la utilización máxima (en términos de vida útil) con ninguna incidencia en la calidad del bien o servicio prestado por el equipo.

Es el mantenimiento programado y planificado con base en análisis técnicos, muestreo y registros de variables que determinan el estado de la máquina y que se monitorea para predecir la falla. Es mucho más ambicioso que el

mantenimiento preventivo y es, en definitiva, una modalidad muy avanzada de éste.

Características. Las actividades típicas de un mantenimiento Predictivo son:

- Balanceo de motores.
- Alineamiento de flechas.
- Análisis modal de problemas especiales.
- Inspecciones termográficas.
- Análisis de aceites lubricantes e hidráulicos.
- Evaluación no destructiva (ensayos no destructivos).
- Motores eléctricos y generadores (megger, análisis de corriente).
- Análisis de Vibraciones.
- Inspecciones Ultrasónicas.

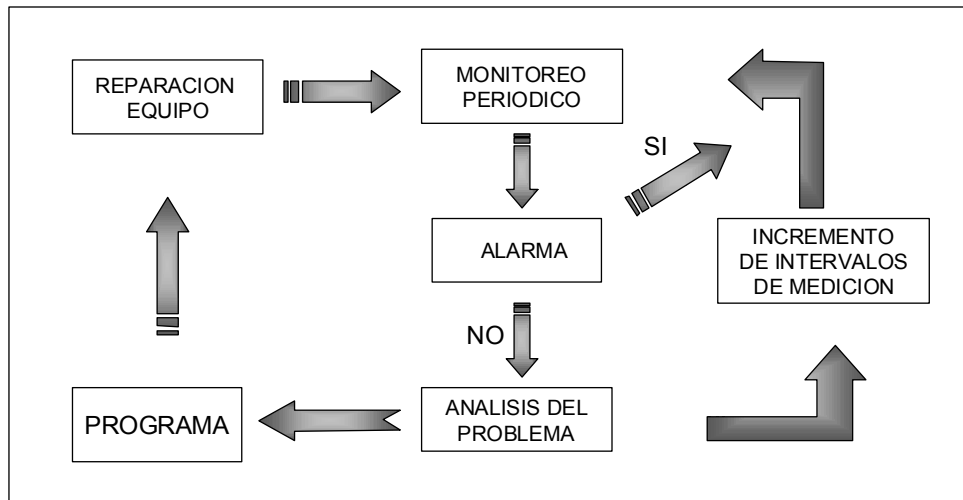
Se puede definir como el monitoreo de las condiciones de operación para detectar cualquier signo de desgaste que pueda conducir a una falla en algún componente.

El objetivo del programa de mantenimiento predictivo, es el de rastrear el desgaste del componente con una metodología que asegure la detección de cualquier falla inminente. Una vez detectada, se rastrea más de cerca el desgaste del componente. El reemplazo del componente se programará (ver Figura 36) entonces, antes de que este falle durante un periodo programado de funcionamiento. También se puede decir que el Mantenimiento Predictivo es el mantenimiento planificado y programado con base en el estado o condición del equipo.

Durante el trabajo con programas de mantenimiento predictivo, se pueden presentar algunos inconvenientes como:

- Insuficiente información de fallas del equipo.
- Falta de concentración en el programa, ocasionado por la falta de implementación de un programa disciplinado y estructurado.
- Insuficiente capacitación en herramientas de Mantenimiento Predictivo.
- Falta de aceptación organizacional.
- Personal insuficiente para el programa de Mantenimiento Predictivo.
- Herramientas inadecuadas de Mantenimiento Predictivo para la tarea.
- La organización es demasiado reactiva.
- Bases deficientes para el Mantenimiento Predictivo (primero se debe cumplir con una serie de etapas para poder comenzar con la implantación).

Figura 36. Mantenimiento Predictivo.



2.2.4 Mantenimiento Productivo Total (TPM). El mantenimiento productivo total no es una técnica sino una filosofía de producción. Lo que busca fundamentalmente el TPM es cambiar el concepto básico de solución de problemas, que generalmente son resueltos por los mandos de la organización, por el de que los problemas de la empresa sean atacados y resueltos por todos los trabajadores. De esta forma se aprovecha y se crea un clima de sugerencias y de ideas que una vez analizadas deben ser llevadas a la práctica lo mas rápidamente posible.

Asimismo, al considerar el concepto del TPM existe la necesidad de cambiar el concepto de operarios de operación y/o de mantenimiento, por el grupo de trabajo.

Los grupos de trabajo asignados deben contener las siguientes características:

- Ser autónomos, es decir, analizan y resuelven los problemas hasta el nivel que su formación les permite.
- Ser polivalentes, los operarios pueden realizar indistintamente tareas de “operación y mantenimiento”.
- Su característica fundamental no es la especialización individual sino una concepción de grupo.
- Ser formadores constantes, los grupos forman parte de un plan de formación y rotación de la empresa perfectamente conocido por el personal, que servirá de base para la motivación y valorización salarial.
- El autocontrol: los grupos realizan su propio autocontrol de forma que el concepto tradicional de control de calidad de las piezas fabricadas o maquinaria reparada queda obsoleto y se introduce la idea de “hacer bien las cosas a la primera”.

- Aprovechar el potencial humano, es la dirección que hay que seguir para mejorar.

El TPM, tiene como principal objetivo, cuidar y utilizar los sistemas productivos, manteniéndolos en su estado original, y aplicando sobre ellos mejoras continuas.

Por otra parte, el TPM procura satisfacer cuatro principios fundamentales:

- Satisfacción de los clientes en aprovisionamiento (internos o externos).
- Operación.
- Producción.
- Distribución.

Esto se puede lograr a través del dominio de los procesos, e involucrando al personal operativo, por medio del automantenimiento, el aprendizaje y el mejoramiento continuo.

Sus doce (12) etapas de implementación son:

- Difusión masiva de la decisión gerencial de implementar TPM.
- Campaña masiva de información y formación sobre la introducción del TPM.
- Establecimiento de la organización para poner en práctica el TPM.
- Elaboración de las políticas y objetivos.
- Elaboración del plan de desarrollo del TPM.
- Lanzamiento del TPM.
- Mejora de la fiabilidad de cada equipo.
- Puesta en práctica de una organización autónoma de mantenimiento.
- Puesta en práctica del mantenimiento preventivo.
- Formación complementaria de los técnicos de mantenimiento.
- Puesta en práctica de un sistema de gestión de los equipos.
- Mejora de la implementación del TPM y búsqueda de objetivos más “ambiciosos”.

2.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento. Desarrollada por la United Airlines de Estados Unidos, el RCM analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son analizados y clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo. Estas fallas son estimadas para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas.

La idea central del RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza esta función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan, éstas últimas son las fallas.

El proceso de análisis global del RCM se resume como sigue:

- Análisis de fallos funcionales. Define el funcionamiento del componente en un equipo, su fallo funcional, y sus efectos de fallo.
- Selección de ítems críticos. Determina y analiza que componentes, sistemas se caracterizan como funcionalmente significativos.
- Decisión lógica del RCM. Incluye el análisis de los ítems funcionalmente significativos (IS), para determinar la consecuencia del fallo.
- Análisis de inspección. La inspección determina qué datos son necesarios para el apoyo del análisis RCM.
- Resumen de los requisitos de mantenimiento. Determina la agrupación de los requisitos óptimos del nivel de mantenimiento que se practica.

2.3.1 Aspectos Preliminares. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, como herramienta estructurada de análisis a partir de la información específica de los equipos y la experiencia de los usuarios, trata de determinar qué tareas de mantenimiento son las más efectivas, mejorando así la fiabilidad funcional de los sistemas relacionados con la seguridad y disponibilidad, previniendo sus fallos y minimizando el costo de mantenimiento. Para llevar a cabo la implantación del RCM, deben sostenerse según un plan definido del RCM y los procedimientos adicionales que se muestran en este trabajo.

- Resumen de tareas: Los requisitos de las tareas son el resultado del análisis del RCM que pueden tener intervalos variantes. Las tareas deben ser resumidas en grupos, con el objetivo de lograr varias tareas en el equipo, toda vez que el equipo se encuentra en un programa de mantenimiento. Resumidas las tareas se consideran los niveles e intervalos de mantenimiento en las áreas de trabajo.
- Los procesos de las tareas: Lo primero es convertir los intervalos de tarea en una medida común base (normalmente el tiempo). Todas las tareas se despliegan en función del tiempo para ver si hay agrupaciones naturales. El ajuste de los intervalos de tareas de mantenimiento se realiza con el objetivo de agrupar tareas de mantenimiento, estas agrupaciones deben ser registradas para realizar comparaciones, rediseñar y determinar los procesos más convenientes del mantenimiento fijado.

- Consideraciones de las herramientas: Las siguientes consideraciones son requisitos para la realización de un programa de mantenimiento:

Agrupar todos los requisitos de trabajo en un área específica, sobre todo si se tiene pérdida de tiempo; sin embargo si se carga excesivamente un área de trabajo con demasiado personal de mantenimiento es un procedimiento ineficaz, el personal debe ser distribuido uniformemente en áreas de trabajo diferentes.

El resumen de tareas de un programa de mantenimiento, afecta tales situaciones como las horas-hombre, la realización del mantenimiento, la disponibilidad del equipo, y en algunos casos la estructura organizada del mantenimiento.

2.3.2 Descripción general de la instalación.

- Nombre de la instalación, haciendo una breve descripción de la actividad.
- Planes de crecimiento a futuro, señalando la fecha estimada de realización.
- Fecha de inicio de operaciones (únicamente para instalaciones en operación).
- Fecha estimada de inicio de operaciones del proyecto.
- Ubicación de la instalación o proyecto. Calle, ciudad, localidad, municipio, departamento, código postal, teléfono(s) y fax, u otra referencia.
- Coordenadas geográficas de la instalación o proyecto.
- Incluir planos de localización a escala, describiendo y señalando las colindancias de la instalación o proyecto y los usos del suelo en un radio de 500 metros en su entorno, así como la ubicación de zonas vulnerables, tales como: asentamientos humanos, áreas naturales protegidas, zonas de reserva ecológica, cuerpos de agua, etc.; indicando claramente los distanciamientos de las mismas.
- Superficie total de la instalación o proyecto y superficie requerida para el desarrollo de la actividad [m²].
- Descripción de accesos (marítimos, terrestres y/o aéreos).
- Infraestructura necesaria. Para el caso de ampliaciones, deberá indicar en forma de lista la infraestructura actual y la proyectada.
- Actividades conexas (industriales, comerciales y/o de servicios) que tengan vinculación con las actividades que se desarrollan o pretendan desarrollar.
- Número de personal en la operación de la instalación.

2.3.3 Descripción del proceso.

- Mencionar los criterios de diseño de la instalación o proyecto con base a las características del sitio y a la susceptibilidad de la zona o fenómenos naturales y efectos meteorológicos adversos.
- Descripción detallada del proceso por líneas de producción, reacción principal y secundarias en donde intervienen materiales considerados de alto riesgo (debiendo anexar diagramas de bloques).
- Listar todas las materias primas, productos y subproductos manejados en el proceso, señalando aquellas que se encuentren en los Listados de Actividades Altamente Riesgosas, especificando sustancia, cantidad máxima de almacenamiento en kg, flujo en m³/hr, concentración, capacidad máxima de producción, tipo de almacenamiento y equipo de seguridad.
- Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento. Especificar: características, código o estándares de construcción, dimensiones, cantidad o volumen máximo de almacenamiento por recipiente, indicando la sustancia contenida, así como los dispositivos de seguridad instalados en los mismos.
- Describir equipos de proceso y auxiliares, especificando características, tiempo estimado de uso y localización. Asimismo, anexar plano a escala del arreglo general de la instalación o proyecto.

2.3.4 Condiciones de operación: Anexar los diagramas de flujo, indicando la siguiente información:

- Balance de materia.
- Temperaturas y presiones de diseño y operación.
- Estado físico de las diversas corrientes de proceso.
- Características del régimen operativo de la instalación (continuo o por lotes).
- Diagramas de tuberías e instrumentación con base en la ingeniería de detalle y con la simbología correspondiente.

2.3.5 Grupo de trabajo.

Naturaleza:

- El grupo de trabajo es establecido y debe incluir una persona de la función de mantenimiento y de operación y un facilitador especialista en RCM. El grupo de proyecto RCM define y clasifica los objetivos y el alcance del análisis, requerimientos y políticas de criterio de aceptación con respecto a la seguridad y protección del medio ambiente.
- El equipo de trabajo debe ser multidisciplinario altamente proactivo, conformado por personas de los departamentos de mantenimiento,

operaciones y especialistas. Estas personas deberán estar altamente familiarizadas con los temas que les competen.

- El grupo será dirigido por un facilitador que podrá o no provenir de los departamentos nombrados anteriormente. El mejoramiento del desempeño implica contribuciones en actitudes, organización, conocimiento, patrones culturales y resultados.

Funciones del grupo de trabajo:

- Las funciones del grupo de trabajo están enmarcadas en realizar actividades de mejoramiento continuo en las operaciones de la empresa. Estas pueden ser agrupadas en dos frentes de trabajo:

Actividades reactivas: Análisis Causa Raíz (ACR), solución de problemas.

Actividades proactivas: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Con el análisis funcional y análisis de criticidad de equipos.

Actividades previas:

- Estos análisis nos permiten conocer el orden de implantación de las técnicas a usar, de manera de garantizar un impacto significativo en los sistemas estudiados.

Actividades a realizar:

- Preparar el grupo de trabajo. Seleccionar personal de perfil acorde a la naturaleza del proyecto. Seleccionar reemplazos naturales para cada miembro del grupo, la mejor manera de lograr esto es tener redundancia, es decir dos operadores (por ejemplo), pudiendo estar en cada reunión uno o ambos, garantizando entre ellos mantenerse siempre informados del avance de las actividades. Tener reemplazos que trabajen sólo en caso de emergencia, tiene asociados diversos problemas de índole práctico.
- Preparar un inventario de sistemas a analizar u oportunidades de mejora.
- Realizar el análisis funcional y de criticidad o el análisis de oportunidades de mejora.
- Preparar un orden de implantación del RCM, estimando el impacto positivo para la empresa que pudiera representar una mejoría en los mismos.
- Seleccionar el sistema o problema de mayor impacto posible y de mayor probabilidad de éxito.
- Definir claramente las funciones de los sistemas o la naturaleza de los problemas.
- Establecer una misión precisa y clara en consenso, definir los objetivos del grupo de trabajo.

- Preparar los cronogramas de actividades, la naturaleza de dicho cronograma dependerá del grupo de trabajo, de sus necesidades y limitaciones, pudiendo ser desde una reunión semanal, a reuniones diarias, quincenales o jornadas de trabajo continuas (por semanas o proyecto).
- El cronograma de trabajo deberá llegar hasta la implantación de actividades y su seguimiento.
- Realizar plan de contingencia, para evitar cualquier retardo debido a problemas previsibles, como permisos, vacaciones de algún integrante del grupo.
- Lograr consenso con la gerencia de la planta sobre los puntos anteriores.
- Comenzar el análisis, partiendo de una sencilla pero concisa documentación de los pasos anteriores.
- Completar el análisis.
- Sugerir soluciones.
- Evaluar la factibilidad económica de las soluciones, recordar que muchas posibles soluciones no son viables desde el punto de vista económico.
- Documentar todo el proceso anterior, realizando pequeños resúmenes a presentar a la gerencia.
- Presentar los resultados a la gerencia de planta, los resultados deberán estar con un completo juicio económico que soporte su implantación.
- Convertir en realidad las sugerencias propuestas y justificadas por el equipo de trabajo.
- Realizar un seguimiento a las actividades y sus resultados, tomar medidas de ser requerido, recordar que se trata de un mejoramiento continuo y no de una mejora por salto al más alto nivel de desempeño.
- Verificar si las actividades son aplicables en otras áreas de la organización e implantarlas de ser necesario.

Del facilitador:

- El facilitador es el líder del equipo de trabajo, deberá facilitar la implantación de las filosofías o técnicas a usar aprovechando las diferentes destrezas del personal que forma el equipo de trabajo, el facilitador deberá ser absolutamente competente en las siguientes áreas:

Técnicas a implantar.

Gerencia del análisis.

Dirección de reuniones.

Administración del tiempo.

Administración, logística y gerencia ascendente.

Las funciones típicas del facilitador incluyen:

- Organizar y dirigir todas las actividades inherentes al proyecto.
- Planificación, programación y dirección de reuniones. Garantizar la ejecución de reuniones en cualquier caso, por lo tanto debería manejar alternativas para solventar cualquier inconveniente con los miembros del equipo.
- Seleccionar el nivel de análisis, definir fronteras y alcance, además de estimar el impacto, la duración y los recursos requeridos para el mismo.
- Asegurar que cada plazo sea plenamente comprendido antes de su ejecución.
- Asegurar el correcto orden de implantación, evitando dar saltos metodológicos que afecten la integridad del proceso.
- Asegurar que el proyecto se cumpla dentro de lo planificado con un margen de error aceptable.
- Coordinar todo el material de apoyo para el trabajo del equipo (planos, diagramas, etc.), así como, mantener al día toda la documentación del proyecto (expedientes, avances, etc.) y compartirla en línea con el grupo.
- Ser el punto focal de comunicaciones del grupo centralizando la información relacionada al tema de trabajo. Mantener a la gerencia informada sobre todos los planes y el progreso de actividades, debe generar constantes informes de elevada calidad.
- Ser la voz técnica que aclare cualquier duda (metodológica) presentada por los miembros de los equipos durante cualquier etapa del proceso.
- En la mayoría de los casos deberá fungir como el transcriptor de la información generada.
- Investigar profundamente sobre temas tratados y no conformarse con información superficial, debiendo en muchos casos dedicarse a corroborar la información generada en las reuniones. Por lo tanto se debe tener el suficiente juicio para saber cuando la participación de un especialista es requerida.
- Debe velar por que las soluciones aportadas por el equipo de trabajo, superen el nivel de informe técnico, es decir sean implantadas realmente.
- Estar en capacidad de reconocer necesidades de adiestramiento (técnico o metodológico) de los integrantes del grupo y prestarlo cuando sea requerido y esté a su nivel.
- Asegurar el consenso de las decisiones tomadas.
- Motivar el grupo.
- Gerenciar los problemas: choques personales, interrupciones, etc.

De las reuniones:

- Se debe garantizar que el equipo de trabajo tenga objetivos comunes y conozca (“grosso modo”) la metodología y el plan de acción. Tener especial cuidado con invitados ocasionales (darles suficiente información).
- Serán programadas con sesiones de trabajo de no más de 90 minutos, con periodos de descanso de 15 minutos entre sesiones (si se programan jornadas de trabajo de más de 90 minutos). Sesión ideal 50 minutos de trabajo + 10 minutos de descanso (refrigerio).
- Recordar que las reuniones son eventos sociales y se debería hacer todo lo posible por convertirlas en eventos agradables (estos proyectos a veces duran años).
- La reunión debería ser confirmada por el punto focal en la planta, quien deberá asegurar la participación del grupo y localizar los suplentes de ser requeridos.
- De no ser posible reunir todo el equipo multidisciplinario, se pueden hacer sesiones de trabajo por especialidad, garantizando la participación de un miembro de operaciones en cada reunión.
- El facilitador preparará una agenda con objetivos a cumplir en la reunión y deberán ser verificados al final de la misma.
- Los resultados de la reunión anterior deberán darse a conocer en la reunión actual.
- Nunca suspender una reunión sin fijar en consenso la fecha y la hora de la próxima reunión.
- El ambiente de la reunión deberá ser libre de culpa. “La búsqueda de soluciones no deberá ser una búsqueda de culpables destinados a la hoguera”.
- No se deben cuestionar negativamente las opiniones de los integrantes. Los problemas internos deberán ser resueltos por el grupo y quedarse entre ellos.
- Los objetivos del análisis y el diagrama de procesos deberán estar siempre visibles en el salón de reuniones.
- El facilitador deberá animar la participación de todos los integrantes de una manera entusiasta.
- El tiempo de las reuniones debe ser usado de una manera inteligente y eficaz.
- Se debe garantizar la existencia de todos los recursos a utilizar en cada reunión (manuales, planos, refrigerios, etc.)
- Deben ser realizadas en lugares cómodos y accesibles por todos los integrantes.
- Se puede hacer uso de las técnicas de análisis, como tormenta de ideas, diagramas de espina de pescado, etc.
- La información clave deberá ser validada antes de continuar trabajando en base a ella. Trabajar en torno a realidades y no a opiniones.

- Buscar soluciones a los problemas y no problemas a las soluciones.
- El incumplimiento de actividades asignadas a los integrantes del equipo para la siguiente reunión, resulta en serios tropiezos. El facilitador y el punto focal deberán garantizar los medios a los integrantes de los equipos para cumplir dichas actividades.

Entonces en todo este trance las comunicaciones juegan un papel importante, siendo canalizadas por el facilitador y el punto focal, deberán ser en sentido vertical (arriba/abajo) y horizontal.

2.3.6 Tareas principales del análisis RCM. Los principales elementos del análisis RCM se resumen en doce pasos como se muestra a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3. Tareas principales del análisis RCM



Estudio y preparación: Definir claramente los objetivos que se persiguen con el análisis que se va a realizar, ya que su definición condicionará el alcance del estudio. Se selecciona los sistemas objeto de evaluación y se establece el monograma del proyecto, identificándose los recursos necesarios.

Definición y selección de sistemas: Después de la definición para la ejecución del análisis RCM en la planta, se consideran dos preguntas:

- ¿Para cuál de los sistemas el análisis es beneficioso, comparado con la planificación tradicional?
- ¿A qué nivel de instalación (planta, sistema, subsistemas, etc.) debe ser conducido la ejecución del RCM?

La descripción de la instalación del proceso jerárquico (registros, flujogramas) es una buena herramienta para el sistema.

Análisis funcional de la falla: Finalizado el anterior paso, el siguiente es definir e identificar las funciones de los equipos y componentes de los equipos en estudio. Para el sistema seleccionado en el subtítulo anterior en análisis, deben considerarse los siguientes aspectos:

- Identificar y describir las funciones de los sistemas y el criterio de ejecución.
- Describir los requerimientos de operación del sistema.
- Identificar las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos seleccionados.

La aplicación de los Modos de Fallo y Análisis del Efecto es recomendado para este análisis.

Selección de ítems críticos: El objetivo fundamental de esta tarea es la identificación de los componentes que se consideran críticos para el adecuado funcionamiento del sistema en cuestión. La catalogación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo que permita impedir sus posibles causas de fallo. Para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo deben considerarse dos aspectos: su probabilidad de aparición y su severidad. La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad que el impacto que ese fallo puede provocar sobre la instalación.

Si no se dispone de una base de datos fiable y eficiente para el cálculo de las probabilidades mencionadas, se puede considerar como criterio único para catalogar la criticidad de los fallos de los equipos su impacto sobre la función o funciones definidas para el sistema objeto de análisis, si bien conviene establecer las medidas adecuadas para que, en un futuro, se pudiera disponer de la información relativa al término de probabilidad. En algunos casos, puede resultar conveniente subdividir el sistema objeto de evaluación en varios subsistemas claramente delimitados para facilitar su análisis. Estos subsistemas que se analizan como si se tratase de sistemas principales, se caracterizan por

desarrollar una función específica en el sistema considerado y están constituidos por uso determinados componentes o equipos.

Las interfases del sistema en cuestión constituirán sus fronteras con otros sistemas de la planta y en su interior están, normalmente, todos los componentes cuya criticidad se va a analizar. En los procedimientos técnicos del proyecto RCM, normalmente se establece una lista de tipos de componentes que, con criterio general, se excluyen del análisis (por ejemplo: válvulas manuales menores de dos pulgadas, soportes rígidos, termopares, etc.).

El análisis de criticidad es, en esencia, un análisis de fiabilidad del sistema considerado y suele consumir un importante nivel de recursos. El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema consiste en la determinación, en primer lugar, de las funciones que debe realizar el sistema considerado dentro del conjunto de la instalación, así como de sus fallos funcionales asociados. Para cada uno de estos fallos funcionales, se identifican aquellos componentes cuyo fallo da lugar al fallo funcional en estudio, provocando efectos negativos en la instalación. A estos componentes se les denomina “componentes críticos”. Esta evaluación se realiza normalmente mediante la conocida técnica de fiabilidad denominada “Análisis de los Modos de Fallo y de sus Efectos” (FMEA).

Para determinados sistemas, se suele plantear la optimización de los recursos dedicados al análisis de la criticidad de sus componentes, reduciendo el nivel sistemático del proceso de análisis que supone el desarrollo de un FMEA y el notable volumen de documentación que se genera. En tales casos, se suele usar un método simplificado de análisis, siendo la “Lista de Criticidad” uno de los más utilizados. Este método, basado en la identificación de las consecuencias negativas que pueden producir los fallos potenciales de los diferentes componentes sobre el sistema bajo estudio, consiste en la aplicación de una lista o batería de preguntas a cada componente del sistema considerado, en función de sus respuestas, catalogarlo como crítico o no crítico. Dichas preguntas tienen que ver, entre otros aspectos, con la pérdida de producción, de seguridad, de las condiciones adecuadas de operación o el incremento de contaminación ambiental.

Tratamiento de los ítems no críticos: En el paso anterior los ítems críticos se seleccionan para el análisis extenso del RCM. Pero ocurre que en el sistema existen ítems que no son analizados, en este caso las plantas tienen un programa de mantenimiento para estos ítems no críticos, o realizar el mantenimiento según las especificaciones técnicas del proveedor.

Aunque la teoría del RCM admite que a los componentes considerados como no críticos se les deje operar hasta su fallo sin aplicarles ningún tipo de mantenimiento preventivo, se recomienda efectuar una evaluación de estos componentes no críticos antes de tomar esta decisión.

Colección y análisis de los datos: Los datos necesarios para el análisis RCM, pueden ser categorizados en los siguientes tres grupos:

- Datos de diseño.
- Datos operacionales.
- Datos de confiabilidad.

Para el análisis de los datos, se aplican las técnicas estadísticas y la probabilidad, con el ajuste apropiado a una ley de distribución de probabilidades, que proporcionan, una solución gráfica del análisis de las curvas trazadas; el tipo de análisis que relaciona los posibles modos de fallo que puede ser extendido con la revisión de las curvas anteriores.

Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos: El objetivo de este paso es identificar los modos de falla dominantes, tal como se describió anteriormente usándose diferentes métodos de identificación de fallas.

Selección de las tareas de mantenimiento: El resultado de la tarea de selección de ítems críticos, es la lista de componentes (críticos y no críticos seleccionados) a los que convendrá identificar una tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo. El objetivo de la presente tarea es efectuar dicha asignación de actividades de mantenimiento.

De forma genérica, el proceso de selección de tareas de mantenimiento se inicia con la identificación de las causas más probables asociadas a los distintos modos de fallo de los componentes considerados.

La aplicación de un Árbol Lógico de Decisión es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis. Para la construcción de este ALD, se deberán definir previamente los criterios a considerar y sus prioridades correspondientes. Así por ejemplo, se podrá dar prioridad a la prevención del fallo frente a su corrección, a la aplicación de técnicas de mantenimiento basadas en la condición operativa del equipo frente a actividades periódicas de mantenimiento o considerar aspectos tales como la evidencia de los fallos para los operadores cuando dichos fallos ocurren.

El resultado de esta tarea será el conjunto de actividades de mantenimiento recomendados para cada equipo. Se definirá el contenido concreto de las actividades específicas que deben realizarse y sus frecuencias de ejecución correspondientes. A este respecto, puede resultar de utilidad la elaboración de “plantillas” en las que se recoja el conocimiento disponible sobre el mantenimiento de los distintos tipos de equipos, con el fin de establecer las apropiadas tareas y

frecuencias de ejecución de forma sistemática y homogénea, en función de aspectos tales como la criticidad del equipo, su frecuencia de uso o las específicas condiciones ambientales de su entorno operativo, entre otros.

Determinación de los intervalos de mantenimiento: Para determinar los intervalos óptimos de mantenimiento, es necesaria la información acerca de las fallas, es decir la función de razón de fallos, las consecuencias y los costos de las fallas, etc.

Análisis y comparación de las estrategias de mantenimiento: El criterio de la selección de las tareas de mantenimiento usadas en el RCM, tiene dos requisitos:

- **Aplicabilidad.** Un programa de mantenimiento es aplicable, cuando este puede eliminar la falla, o reducir la probabilidad de ocurrencia hasta un nivel aceptable, reduciendo el impacto de las fallas.
- **Efectividad.** Significa que el costo de las tareas de mantenimiento es menor que los costos de las fallas. Las tareas del programa de mantenimiento definidas.

Implantación de recomendaciones: Una vez seleccionadas las actividades de mantenimiento consideradas más eficientes para los diferentes componentes analizados, se establecen las recomendaciones finales del estudio RCM y se lleva a cabo su implantación. En primer lugar, se efectúa la comparación de las tareas de mantenimiento vigentes en la instalación con las recomendaciones del análisis RCM. El resultado de esta actividad es el conjunto final de tareas de mantenimiento que se propone aplicar a cada componente. Dichas tareas finales de mantenimiento habrán surgido de aplicar los siguientes criterios:

- Si una tarea vigente de mantenimiento en la planta no ha sido recomendada por el estudio RCM, se propondrá su anulación.
- Si una tarea de mantenimiento recomendada por el estudio RCM no se está aplicando en la actualidad, se propondrá su incorporación al plan de mantenimiento.
- Si una tarea vigente de mantenimiento en la planta coincide con una tarea recomendada por el estudio RCM, se propondrá su retención.
- Si la frecuencia de una tarea vigente de mantenimiento en la planta no coincide con la de una tarea recomendada por el estudio RCM con el mismo contenido, se propondrá su modificación.

A partir de dichas recomendaciones finales, se deberá proceder a la redacción del nuevo plan de mantenimiento que se propone para la instalación. Para ello, es imprescindible la aprobación de las recomendaciones propuestas por parte de la gerencia, quien además fijará los criterios de aplicación y asignará los recursos necesarios.

La elaboración del nuevo plan de mantenimiento, además de las bases técnicas de mantenimiento obtenidas con el análisis RCM, requerirá considerar otros aspectos tales como los compromisos existentes, ajenos al mantenimiento, que implican la realización de determinadas tareas y el grado de eficacia que se consigue en la agrupación de diferentes actividades de mantenimiento. En algunos casos, será preciso elaborar nuevos procedimientos de trabajo y realizar adaptaciones de los procesos informáticos existentes que pudieran estar relacionados con el tema.

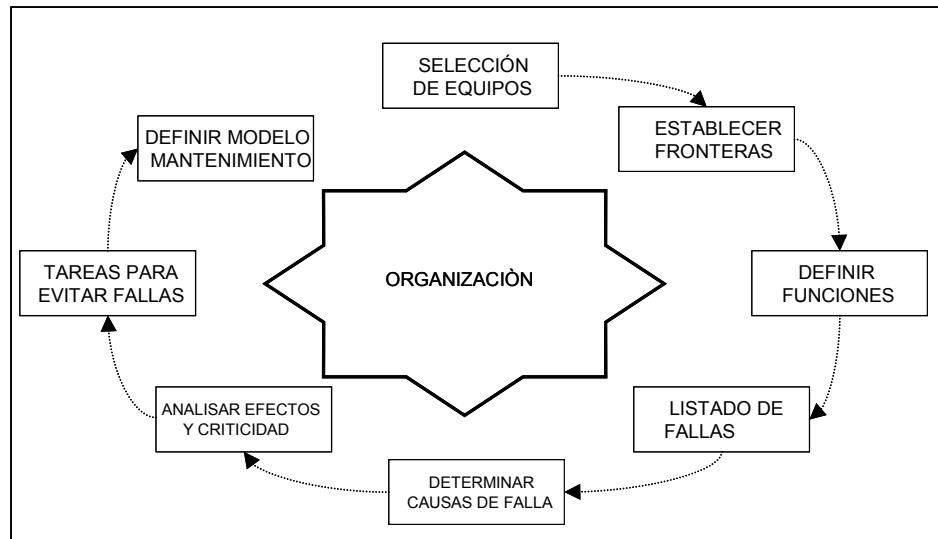
Seguimiento de resultados: El seguimiento y el análisis de los resultados que se van obteniendo en la planta con la implantación del nuevo programa de mantenimiento son tareas que resultan de capital importancia para la evaluación de su eficacia. Este proceso requerirá por una parte, la definición de los parámetros e índices de seguimiento, la implantación de los pertinentes procesos de captación de la información básica necesaria, el establecimiento del adecuado procedimiento de actuación y la correspondiente asignación de recursos.

La necesidad de considerar nuevas técnicas de mantenimiento, añadir algún posible modo de fallo o componente no analizado inicialmente o revisar las hipótesis de estudio, sus conclusiones entre otras, harán conveniente la actualización global de estudio del RCM, cada cierto tiempo con el fin de minimizar la obsolescencia de las recomendaciones aportadas con el paso del tiempo.

En el RCM, cada tarea de un programa de mantenimiento preventivo, es generada a partir del análisis de tipos de fallas funcionales del sistema (ver Figura 37), seguido de un análisis de sus efectos o consecuencias. Con base en el análisis realizado, se determina si la tarea de mantenimiento es esencial o deseable, teniendo en cuenta la posibilidad de que la falla pueda afectar la seguridad, al medio ambiente, o a la relación costo - beneficio del sistema.

El RCM es un procedimiento estructurado, que permite definir la mejor política de mantenimiento para cada máquina o equipo en su contexto operacional. Requiere de un trabajo en equipo, conformado por el personal de Mantenimiento y Producción, en donde se determinan reglas para la evaluación y toma de decisiones. Además, ayuda a establecer el cuándo y el por qué, realizar algún tipo de mantenimiento (Proactivo, Predictivo, Preventivo, Correctivo).

Figura 37. Ciclo del mantenimiento centrado en confiabilidad



Los fundamentos del RCM, se basan en siete preguntas:

- ¿Cuál es la función del activo?.
- ¿De qué manera puede fallar?.
- ¿Qué origina la falla?.
- ¿Qué pasa cuando Falla?.
- ¿Importa si falla?.
- ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?.
- ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?.

3. MODOS DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS (FMEA)

El análisis del modo de falla y efectos (FMEA) es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o el proceso. Comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias. Asimismo, se estima la probabilidad y la severidad de la falla⁵.

El FMEA es un procedimiento por el cual cada modo de fallo creíble de cada parte es analizado para determinar los efectos en el sistema y clasificarlos en los distintos modos de fallos para poder analizar la severidad de los efectos.

El FMEA es una técnica de ingeniería usada para definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores, y otras fallas del sistema, proceso, diseño o servicio antes de que alcancen a llegar al consumidor⁶.

Análisis y efectos de modos de fallo es un método importante para las prevenciones tempranas en sistemas, diseños, procesos y o servicios, los cuales prevendrán fallos y errores desde que han ocurrido y alcanzado al usuario.

El FMEA es una metodología que maximiza la satisfacción de los clientes al poderles ofrecer productos y o servicios más eficientes, eliminando o reduciendo problemas conocidos o potenciales.

El modo o modalidad de fallo es un procedimiento por el cual se identifican los desperfectos en partes y componentes. Luego, utilizando la tasa de fallas para los niveles apropiados de esfuerzo, se determina su efecto en el sistema. Cada parte se considera, a su vez, como si hubiera fallado en cada modalidad posible. Se toma nota del efecto de cada una de estas fallas en diferentes niveles del sistema y se asigna una tasa de fallas con base en los datos disponibles.

El análisis de la evaluación por medio de FMEA puede tomar dos cursos de acción, usando datos históricos o mediante la estadística inferencial, modelación matemática, simulación y confiabilidad. Estas técnicas se usan para identificar y definir las fallas. Al usar FMEA no se quiere decir que un método es más preciso que el otro; los dos métodos pueden ser eficientes y precisos si se realizan correctamente⁷.

⁵ Duffuaa. Quality maintenance Engineering, Vol 1. 1996. p. 270

⁶ Omdahl. Reliability availability and maintainability dictionary. 1998. p.27

⁷ Stamatis. Failure mode and effect analysis. ASQC .1995. p25

3.1 CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD DE LOS FALLOS

El verdadero impacto de un modo de fallo se define mejor en la fiabilidad del sistema por la combinación de la frecuencia de ocurrencia y el nivel de severidad del fallo. Ver Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de severidad de los fallos

CATEGORÍA	CONSECUENCIAS
ACEPTABLE	Ningún daño para el sistema Pérdidas de equipamiento mínimo Ningún accidente de trabajo Parada de producción mínima
MARGINAL	Daños leves para el sistema Pérdidas de equipamiento menores Accidentes de trabajo leves Parada de producción menor
CRITICA	Daños serios para el sistema Pérdida de equipamiento crítica Accidentes de trabajo graves Parada de producción crítica
CATASTROFICA	Pérdida del sistema Pérdida de equipamiento total Muertes Parada de producción total

3.2 EL PROCESO FMEA.

El objetivo consiste en desarrollar los pasos y la estructura del FMEA, definiendo e identificando:

- Las funciones de las máquinas y/o procesos dentro del FMEA
- Los modos de falla
- Los efectos de los modos de falla
- La severidad de los modos de falla
- Las posibles causas de fallo
- El número prioritario de riesgo de los fallos para su aplicación
- El mejoramiento de los procesos de producción y mantenimiento

3.2.1 Las funciones de las máquinas y/o procesos dentro del FMEA. La función es el propósito o misión de un activo en un contexto operacional específico⁸.

La pérdida total o parcial de estas funciones afectaran a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización dependerá de: La función de los equipos en su contexto operacional; y el comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

La función es muy importante en el entendimiento del proceso entero de FMEA. Esta debe ser identificada en una manera concisa, exacta y fácil de entender. Para esto se recomienda el uso de un verbo con el fin de describir la función; por ejemplo: lubricar, posicionar, retener y soportar⁹.

La función es importante describirla en el contexto operacional del artículo. La presencia de redundancias (o medios alternativos de producción) es una característica del contexto operacional que debe ser considerada en detalle cuando se defiende las funciones del artículo.

Entre los tipos de funciones podemos encontrar:

Funciones primarias. Las funciones primarias constituyen la razón de ser del activo “ el porque fue adquirido el sistema” y esta asociado a la salida principal (producto de salida) del sistema (funciones primarias típicas: bombear, comprimir, calentar, etc.). Una función principal es generalmente dada por el nombre del artículo.

Funciones secundarias. Las funciones secundarias son aquellas otras funciones que el activo esta en capacidad de cumplir de forma adicional a la función primaria. Los principales tipos de funciones secundarias son: protección (Una función secundaria importante para la mayoría de los equipos de protección es no funcionar cuando todo esta normal), control, apariencia (La apariencia de muchos artículos engloba una función secundaria especifica, por ejemplo la función principal de la pintura en la mayoría de los equipos industriales es proteger contra la corrosión, pero un color brillante puede ser usado para realzar su visibilidad por razones de seguridad), contención (Todo articulo cuya función principal es transferir algún tipo de material tiene también una función secundaria de contener este material), soporte, integridad, seguridad, ambiente y superfluas¹⁰.

3.2.2 Los modos de falla. El modo de falla se define como la causa raíz de cada fallo funcional; en otras palabras, el modo de falla es el origen de cada falla funcional, que provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener mas de un modo de falla).

⁸ Parra. Optimización de la producción a partir de la implementación del MCC. 1999. p.28

⁹ Stamatis. Failure mode and effect analysis.ASQC. 1995. p.73

¹⁰ Parra. Optimización de la producción a partir de la implementación del MCC . 1999. p.32

Se define el efecto o la consecuencia de falla como el impacto que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla sobre el ambiente, la seguridad humana y las operaciones (¿qué sucederá cuando ocurra un modo de falla?) (Cada modo de falla puede tener mas de una consecuencia o efecto). Es así como el modo de falla es la descripción física de la manera en la cual la falla ocurre. Algunos ejemplos de modos de falla son: Circuito abierto, fractura, goteo, calentamiento de una superficie, suciedad, excentricidad, etc.

Un modo de falla puede tener mas de un nivel dependiendo de la complejidad de la función definida. Estos niveles de relación se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Niveles de modos de falla

		Sistema	Diseño	Proceso	Servicio
Nivel 1	Modo de Falla	Falla al operar	No se pueden generar pulsos	Poca alimentación de material	Pobre servicio
Nivel 2	Primer nivel de causa	Muy delgado el material (Puede ser un problema de especificación)	Circuito abierto	Variabilidad del operador	No hay habilidad en el servicio
Nivel 3	Segundo nivel de causa: causa raíz.	El material se quiebra (puede ser un problema de esfuerzos)	Botón de encendido	Carencia de entrenamiento	No hay suficiente personal

Falla funcional. Es la ocurrencia no previsible, que no permite al activo alcanzar el estándar de ejecución esperado y trae como ocurrencia que el activo no pueda cumplir su función o la cumpla de forma ineficiente.

La inhabilidad puede ser definida tanto como conocida o como potencial. De todo lo que concierne al FMEA, su principal interés se centra en la identificación de fallos potenciales en termino de defectos funcionales. En este punto el FMEA busca cumplir su misión de prevenir.

Los defectos funcionales son las fallas que el usuario no conoce, o que no cumplen sus requerimientos.

El usuario, sin embargo recibe el producto y/o servicio con algunas fallas sin saber la causa de cualquier modo porque:

El usuario nunca detectara la falla:

- El usuario la encontrara, pero tendrá que usarlo de cualquier modo porque:

No hay otras alternativas, tiene que usarlo como es y quien manufactura es el único proveedor.

- Basado en la aplicación, el producto puede ser usado con consecuencias insignificantes. Ejemplos de fallos son: Desgaste, ruido, fractura, corrosión.

Tipos de fallos. Los tipos de falla se pueden clasificar por numerosos conceptos. Uno de ellos es por el origen de la avería, diferenciando los siguientes casos:

- Fallos debido a un mal diseño o a errores de cálculo del equipo. No conocer exactamente las condiciones en las que trabajara la máquina, despreciar efectos que luego resultan más importantes de lo que se esperaba o el exceso de simplificación en el aparato para obtener mejores precios, ocasiona errores de diseño que adquirimos con el equipo. El número de fallos atribuibles a este hecho son del orden del 12% del total de fallos. La solución a estos fallos resulta muy difícil si el planteamiento original difiere mucho de la realidad y posiblemente no nos quede otra opción que asumir una tasa de fallos elevada.
- Fallos debido a defectos durante la fabricación del equipo. Si se descuidan los controles de calidad de los materiales y piezas que componen el equipo, nos encontraremos con fallos potenciales incluidos en la máquina que no tardaran en aparecer. Las soluciones pasan por reemplazar las piezas defectuosas de origen. Este tipo de fallos representa el 10.45%.
- Fallos producidos por el mal uso de la instalación. Porcentualmente son los más numerosos (el 40%); provienen de su desconocimiento del manejo del equipo, por emplearlo en aplicaciones para las que no está diseñado y, sobre todo, por utilizarlo en regímenes superiores a los especificados por el diseñador.
- Fallos debidos al desgaste natural y al envejecimiento. Estos son los fallos que nos son más similares. Se trata de roturas, desgastes, abrasiones, corrosión, fatiga, cavitación, etc. Suponen el 10.45%.

Otro tipo de fallo se da desde el punto de vista del mantenimiento. Fallos en función de la capacidad de trabajo de la instalación. En función de la capacidad de trabajo distinguiremos entre fallos totales y parciales. Un fallo total implica un paro de todo el sistema productivo. Uno parcial afecta solo a una serie de elementos pudiendo continuar trabajando con el resto. La aparición de uno u otro tipo de fallo depende, en gran medida, de la complejidad de la instalación y de si los diferentes sistemas están unidos en serie o en paralelo. Como ejemplo de avería total podemos poner el de un automóvil que sufre un pinchazo en una de sus ruedas; es necesario parar inmediatamente y cambiar la rueda para poder continuar. Una avería parcial sería una rueda desinflada; continuaríamos el trayecto hasta encontrar una oportunidad para inflarla.

Fallas en función de la forma de aparecer. En función de cómo aparece el fallo podemos diferenciar entre progresivos y repentinos. Los progresivos son lo que, de una u otra manera hacen prever su aparición. Son fallos asociados al desgaste, la abrasión, desajustes, etc., y con un seguimiento se puede llegar a establecer cuando se producirá el fallo definitivo. Los repentinos corresponden a una función aleatoria y suelen depender de que coincidan una serie de factores difíciles de predecir. Suelen tener relación con roturas de piezas o elementos. Volviendo al caso del automóvil un fallo progresivo sería el desgaste del dibujo de la rueda. Podemos ir verificando la altura del dibujo antes de llegar a límites de peligrosidad e incluso, en función de las carreteras que frecuentemos, podemos predecir cada cuantos kilómetros deberemos cambiar las ruedas. Un fallo repentino sería, en este caso, el reventón de una de las ruedas¹¹.

3.2.3 Efectos de los modos de falla. Los efectos de los modos de falla son los resultados de la falla sobre el sistema, diseño, proceso o servicio. En esencia los efectos de las fallas tienen que ver con el cuestionamiento: ¿Qué pasaría si esto fallara? ¿Cuál o cuales serían las consecuencias de la falla? Se debe entender sin embargo que las fallas deben ser vistas desde dos puntos. El primer punto de vista es local, en el cual la falla es aislada y no afecta nada más. El segundo punto de vista es global, en el cual la falla puede y afecta otras funciones y/o componentes. Esta tiene un efecto dominante. Generalmente hablando la falla con efecto global es mucho más seria que una con efecto local¹².

El efecto de la falla también define la severidad de una falla particular. En realidad, el efecto de la falla tiene relación directa con la severidad. Así si el efecto es serio, la severidad será alta. Estos efectos de los fallos son importantes también porque nos permiten decidir la importancia de cada fallo, y por lo tanto que nivel de mantenimiento preventivo sería necesario.

Ejemplo de los efectos de fallo sería:

- Local: Fallo en una bombilla
- Global: Fallo en el timón de dirección.

3.2.4 La severidad de los modos de falla. La severidad es un rateo que indica la seriedad del efecto del posible modo de fallo sobre el sistema. La severidad siempre se aplica sobre los efectos de los modos de falla. En realidad hay una correlación directa entre efecto y severidad. Por ejemplo, si el efecto es crítico, la severidad es alta; y por otro lado si el efecto no es crítico la severidad es baja. La severidad se revisa desde la perspectiva del sistema mismo, de otro sistema, del producto, del cliente, y/o de la regulación gubernamental. Para propósitos de

¹¹ Mosleh. "Procedures for treating common cause failures in safety reliability studies".1998. p.34

¹² Stamatis. Failure mode and effect analysis.ASQC. 1995. p.78

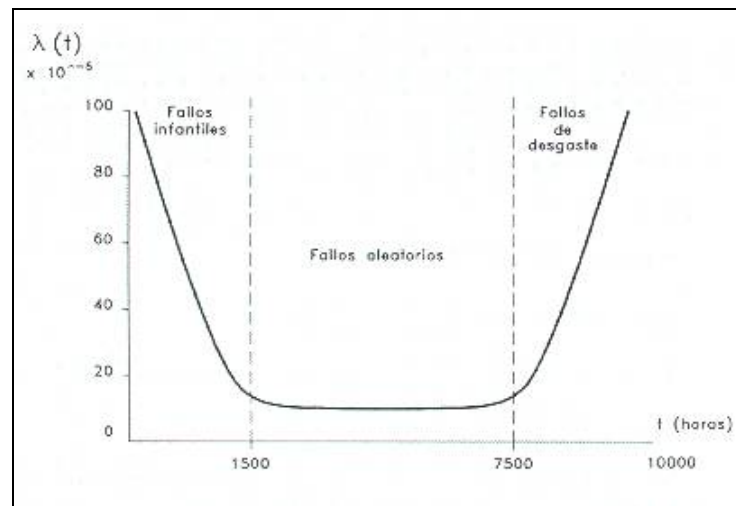
evaluación usualmente existe una tabla con los niveles, en donde se reflejan los problemas de la organización conjugados con los del cliente y/o con los de la regulación gubernamental.

3.2.5 Las posibles causas de falla. La causa de un modo de falla en un sistema es la deficiencia en el diseño del mismo; que da como resultado el modo de falla. Existen dos maneras en las que se presenta la falla y ellas son:

Las relacionadas con los fallos específicos.

Relacionadas con la curva de confiabilidad de la bañera, en términos de causas prematuras, oportunidad de fallo y causas de desgaste. Ver Figura 38.

Figura 38. Curva de confiabilidad de la bañera



Fuente Bibliográfica: Creus, 1992, 10.

Ejemplos de estas dos condiciones son:

- Causas de falla prematura: Estas se deben a malas instalaciones, errores humanos, partes sin estándar, etc.
- Oportunidad de falla: Abuso, diseño insuficiente, acto de Dios, etc.

Causas de desgaste: Corrosión, envejecimiento, fatiga, vida corta en el diseño, etc. Se debe enfatizar repetidamente que cuando uno se enfoca en la causa, uno debe mirar la causa raíz, no los efectos de la falla. Para hacer un buen trabajo, al identificar apropiadamente la causa potencial de la falla, se debe entender el sistema para así poder realizarse las preguntas apropiadas. Algunas de las técnicas usadas son la Tormenta de ideas (Brainstorming), el análisis de causa efecto, el análisis de diagramas de bloque, y otras afines.

La pregunta básica a formular es “¿De qué manera puede el sistema fallar en el desempeño de las funciones para las cuales fue diseñado?” Otro método es realizar cinco preguntas del ¿por qué?, con la intención de que su respuesta se vaya haciendo más difícil y así poder identificar las posibles causas. Las primeras preguntas resultan bastante superficiales, pero las siguientes son más sustantivas.

Un modo de falla puede ser causado por uno o varios componentes individuales, o por:

- Interacción con otros componentes.
- Interacción con otros componentes de otros sistemas.
- Interacción con el usuario.
- Interacción con el gobierno.

Es aquí donde el FMEA muestra su mayor beneficio en la identificación de fallos potenciales en el sistema; causados por la interacción entre componentes y/o sistemas. Estas interacciones pueden también involucrar factores humanos y otros relacionados con la manipulación que deben ser revisados completamente¹³.

La relación entre modo de falla y causa de falla no es lineal, ó, uno a uno. No debe haber sorpresa si existen varias o muchas causas para un modo de falla. (Aunque algunas veces se da la relación uno a uno). Se debe elaborar una lista con todas las causas posibles; estas causas deben ser tomadas como modos de fallas potenciales en el desarrollo del FMEA. Entre más causas se identifiquen; es más fácil la implementación del FMEA.

Algunos ejemplos de causas de fallas son:

- Operación intermitente.
- Errores en el software.
- Fallo al parar.
- Degradación en las variables de salida.
- Fallo al arrancar.

En el sistema FMEA las causas de las fallas algunas veces no son tan obvias. En realidad, existen tres condiciones que al menos se deben examinar:

- La causa específica es desconocida, aunque se sabe que existe. En este caso hay dos posibilidades:

El modo de falla es detectado, en cuyo caso el mecanismo de detección es el adecuado. Lo que se necesita, además, es diseñar una acción para remover la causa, o más allá la necesidad de un análisis para identificar la causa precisa.

¹³ Kececioglu. Reliability engineering handbook. 1991. p.82

- El modo de falla no es detectado, en cuyo caso el mecanismo de detección no esta funcionando. Como parte del sistema FMEA, las recomendaciones son incrementar la cantidad de muestras de fallos, o desarrollar una nueva técnica o prueba para detectar la falla. Ver Tabla 6.
- Existe una causa especifica, aunque no puede ser detectada. En este caso hay tres posibilidades: La técnica de detección y verificación tiene buena capacidad, en cuyo caso la muestra es baja, debiendo ser incrementada. La técnica de detección y verificación no tiene buena capacidad, en cuyo caso se necesita buscar otra técnica mas adecuada. La nueva técnica debe ser más sensible que la existente para poder detectar la causa especifica.
- Existe una causa especifica y puede ser detectada. En este caso hay dos posibilidades: La causa es detectada, en cuyo caso se requiere un análisis o prueba para determinar la acción apropiada para remover la causa raíz de la falla. La causa no es detectada, en cuyo caso puede existir un problema en el diseño del FMEA o no se han realizado las pruebas suficientes. En este caso, se recomienda el uso de otra herramienta diferente, como el diseño de experimentos¹⁴.

3.2.6 Ocurrencia. La ocurrencia es el valor tasado correspondiente al número estimado (algunas veces un número acumulativo) de fallas que podrían ocurrir por una causa determinada, en el periodo de vida del sistema diseñado. Para identificar la frecuencia para cada una de las causas, se debe hacer uso de la matemática de confiabilidad o simplemente se usa un número acumulativo de fallos del componente (cnf), por cada 100 o 1000 componentes (cnf/100 o cnf/1000 respectivamente). la vida del diseño en el sistema fmea es la durabilidad esperada del componente¹⁵.

Otra manera de definir la vida del diseño en el sistema FMEA, es el periodo esperado de vida útil del componente, después del cual el componente es descartado porque este cesa de funcionar según su diseño (desgaste normal); y porque es demasiado costoso repararlo.

Si la frecuencia esperada y/o el número acumulativo de fallos no se pueden determinar, se recomienda para el sistema FMEA tomar la de un sistema similar o sustituto.

¹⁴ Modarres. "What every engineer should know about reliability and Risk Analysis". 1993. p.74

¹⁵ Stamatis. Failure mode and effect analysis.ASQC. 1995. p.17

Tabla 6. Guías para la selección de la severidad en el sistema FMEA.

Efecto	Nivel	Criterio	Resolución
No	1	No hay efecto	
Muy leve	2	El usuario no se da cuenta. Efectos muy leves sobre el producto o sobre el desempeño del sistema.	Si el valor numérico cae entre dos números, seleccione siempre el número mas alto.
Leve	3	El usuario levemente se da cuenta. Efectos leves sobre el producto o sobre el desempeño del sistema.	Si el grupo tiene un desacuerdo en la selección del nivel pueden seguir las siguientes
Menor	4	El usuario experimenta una molestia menor. Efectos menores sobre el producto o sobre el desempeño del sistema.	Recomendaciones:
Moderado	5	El usuario experimenta alguna insatisfacción. Efectos moderados sobre el producto o sobre el desempeño del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Si el desacuerdo es en una categoría cercana, promedie la diferencia.
Significante	6	El usuario experimenta inconformidad. El desempeño del producto se degrada, aunque operable y seguro. Fallas parciales, pero operable.	<ul style="list-style-type: none"> • Si el desacuerdo excede un nivel, se debe alcanzar un consenso. No promediar, ni sacar la mayoría.
Mayor	7	El usuario insatisfecho. El desempeño del producto severamente afectado pero funcional y seguro. Sistema dañado	
Extremo	8	El usuario muy insatisfecho. El producto inoperable pero seguro. Sistema inoperable.	
Serio	9	Efectos peligrosos potenciales. Capaz de detener el producto.	
Peligroso	10	Efectos peligrosos. Seguridad relativa- fallas repentinas.	

Fuente Bibliográfica: Stamatis,1995,112

Generalmente, el sistema FMEA opera bajo la premisa de punto único de fallo (en otras palabras, si el componente falla, el sistema también lo hace). Un punto único de fallo se define como la falla de un componente, que puede ocasionar la falla del sistema y no puede ser compensada por un sistema alternativo. Por

ejemplo, piezas únicas de hardware y cables para la transferencia de información, tienen un alto grado de dependencia sobre componentes únicos, los cuales pueden ser evitados a través del uso de sistemas alternos. En este caso, la instalación de dos cables con terminales entremezclados en uno de los dos cables, puede minimizar la interrupción en el servicio en caso del fallo en uno de los cables.

La ocurrencia es obligatorio calcularla para cada causa única de fallo. Esta debe ser también el resultado del consenso total del equipo que esta a cargo del sistema FMEA¹⁶. Ver Tabla 7.

Tabla 7. Guías para la determinación de la ocurrencia en el sistema FMEA.

Detección	Nivel	Criterio	CNF/1000	Resolución
Casi nunca	1	Falla improbable. Históricamente no existe ninguna falla	< 0.0058	Si el valor numérico cae entre dos números, seleccione siempre el número mas alto.
Remota	2	Rara probabilidad de fallas.	0.0068	
Muy leve	3	Muy poca probabilidad de fallas	0.0063	Si el grupo tiene un desacuerdo en la selección del nivel, pueden seguir las siguientes recomendaciones.
Leve	4	Pocas probabilidades de fallas.	0.46	
Bajo	5	Número ocasional de probabilidades de fallas.	2.7	
Medio	6	Número medio de probabilidades de fallas.	12.4	Si el desacuerdo es en una categoría cercana, promedie la diferencia.
Medio alto	7	Número medio alto de probabilidad de fallas.	46	
Alto	8	Número alto de probabilidad de fallas.	134	
Muy alto	9	Número muy alto de probabilidad de fallas.	316	Si el desacuerdo excede un nivel, se debe alcanzar un consenso. No promediar, ni sacar la mayoría.
Casi segura	10	Falla casi segura. Históricamente la falla existe desde diseños previos similares.	> 316	

Fuente Bibliográfica: Stamatis,1995,119.

3.2.7 Detección. La detección es la valoración de la probabilidad que los sistemas de control propuestos detecten la causa de una falla raíz específica, antes de que la parte sea instalada en el diseño¹⁷.

Si la habilidad de los controles para detectar la falla es desconocida o no se puede estimar la detección, entonces la valuación de detección deberá ser 10. Una guía típica para evaluar detección se muestra en la Tabla 8.

¹⁶ Childs. "Facilities Failure Mode and Effects Analysis". 1997. p.102

¹⁷ Stamatis. Failure mode and effect analysis.ASQC. 1995. p.120

Tabla 8. Guías para la determinar la detección en el sistema FMEA

Efecto	Nivel	Criterio	Resolución
Casi segura	1	Detección demostrada por los métodos disponibles en la fase conceptual.	Si el valor numérico cae entre dos números, seleccione siempre el número mas alto.
Muy alta	2	Detección demostrada mediante análisis por computadora disponible en la fase de diseño.	
Alta	3	Simulación y/o modelado en las primeras fases.	Si el grupo tiene un desacuerdo en la selección del nivel, pueden seguir las siguientes recomendaciones.
Medio alta	4	Pruebas sobre elementos prototipos en las primeras fases.	
Media	5	Pruebas sobre componentes de preproducción.	
Baja	6	Pruebas sobre componentes de sistemas similares.	Si el desacuerdo es en una categoría cercana, promedie la diferencia.
Leve	7	Pruebas sobre productos con prototipos y con componentes instalados	
Muy leve	8	Prueba de durabilidad sobre productos con componentes instalados.	Si el desacuerdo excede un nivel, se debe alcanzar un consenso. No promediar, ni sacar la mayoría.
Remota	9	Solo hay disponible técnicas no confiables o no determinadas.	
Casi imposible	10	Las técnicas disponibles son desconocidas.	

Fuente Bibliográfica: Stamatis,1995,14

Métodos de Detección. Los métodos de detección constan de procedimientos, pruebas, revisiones al diseño, o análisis de ingeniería; hay algunos métodos de primer nivel para detectar fallas en los sistemas; estos pueden ser muy simples (como el caso de la lluvia de ideas), o pueden ser muy técnicos y avanzados (como el análisis de elementos finitos, las simulaciones por computadora y las pruebas de laboratorio).

El objetivo es detectar las deficiencias en un diseño tan rápido como sea posible. Estas deficiencias se deben ver como una debilidad en el sistema para revelar, detectar o eliminar el problema del sistema. La idea de una pronta detección en el sistema FMEA es poder proveer controles eficientes en el diseño¹⁸.

¹⁸ Bralia. "Product Design for manufacturing". 1986. p.233

A causa de que el sistema FMEA se desarrolla muy prontamente, algunas veces es difícil evaluar la tasa de detección; en estos casos se puede usar información histórica, o informaciones similares acerca de componentes y/o sistemas. En algunos casos es posible no tener ningún método, prueba o técnica para identificar la falla.

Otra manera de enfocarse en la detección es utilizar la técnica de la lluvia de ideas para identificar nuevos métodos, y mirar como estos aplican a la hora de emplearse. Dos preguntas obligatorias en el proceso de lluvia de ideas deben ser:

- ¿Cómo puede ser la falla descubierta?
- ¿De que manera puede ser esta falla reconocida?

Para responder estas preguntas es de ayuda tener una lista de chequeo, ver Figura 39.

3.3 NÚMERO DE RIESGO PRIORITARIO (RPN).

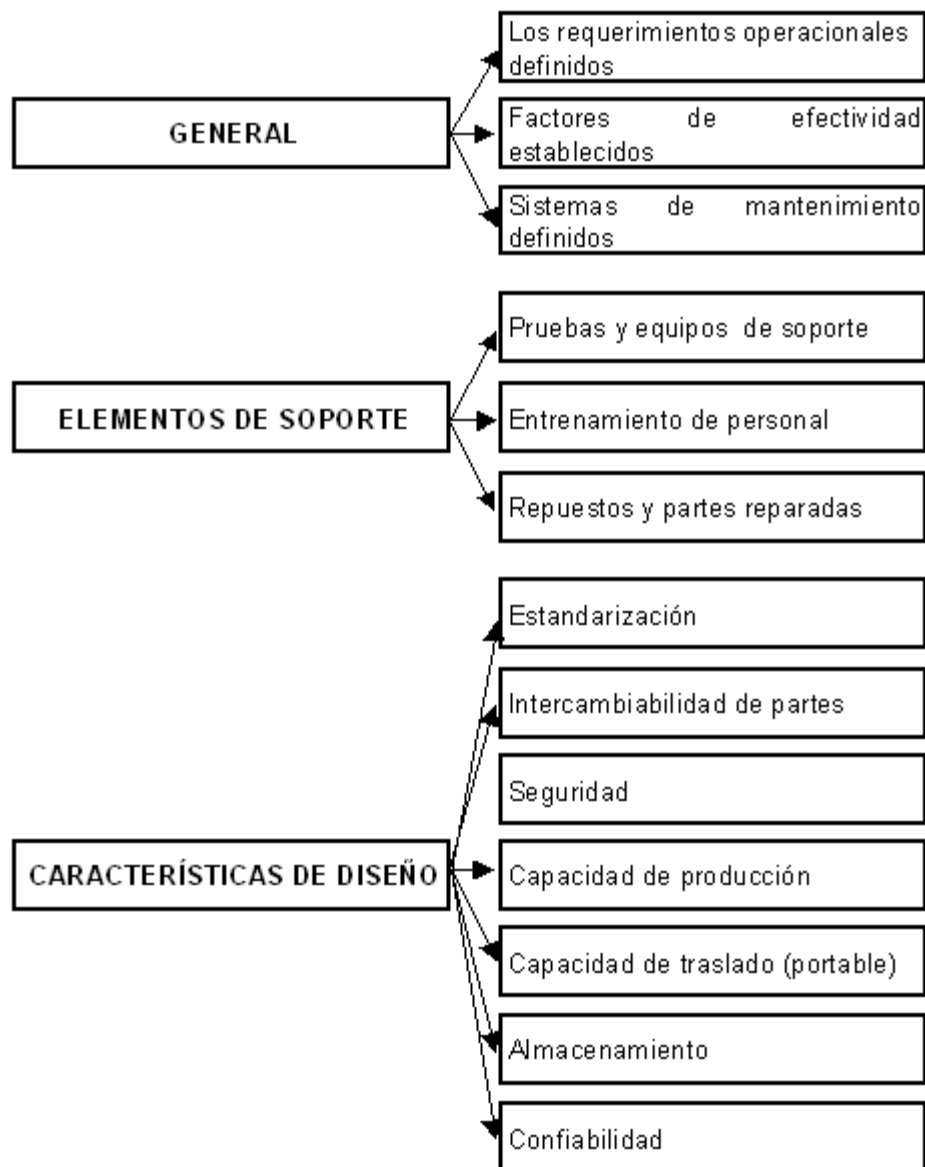
Teniendo en cuenta las medidas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en los equipos es indispensable para un buen ejercicio del proceso FMEA calcular el número de riesgo prioritario RPN para los distintos componentes en las máquinas, o procesos, o diseños; con el fin de tomar acciones correctivas o preventivas necesarias para el buen funcionamiento de todo el sistema.

La naturaleza del riesgo: en cualquier discusión del término riesgo, éste se juzga filosófico, teórico, y para la mayor parte, inaplicable. Es un tema no relacionado con su existencia cotidiana que se ve como herramienta esotérica de la ciencia y de la ingeniería (Slovic y otros,1980,190-191). Las fallas inesperadas pueden llegar a suceder otra vez dependiendo de la situación, nuestra sociedad en términos tecnológicos está enterada de conocimientos más amplios cada día, lo cual demuestra como ha aumentando la percepción de los riesgos por parte de las personas para utilizar la información diaria con el fin de reducir riesgos en peligros percibidos.

El riesgo no se puede medir directamente, sino que debe ser calculado. No se puede asociar una punta de prueba a un dispositivo y medir su riesgo. De esta perspectiva, el riesgo no es un fenómeno naturalmente que ocurre, es un parámetro que requiere la integración por lo menos de dos cantidades: la ocasión y el tipo de acontecimiento.

El riesgo es un parámetro abstracto que requiere un grado de intelecto el cual es único dentro de la especie humana. la habilidad para realizar cálculos de riesgos se relaciona con quién tendrá éxito y quién no.

Figura 39. Lista de chequeo como herramienta en la detección.



3.3.1 Definiciones del riesgo:

Posibilidad de la pérdida o de lesión, un elemento o un factor peligroso¹⁹.

La ocasión de deterioro, del daño, o de la pérdida.

La posibilidad del daño o de la pérdida por parte del elemento afectado.

¹⁹ Webster. New World Dictionary of the American Language . 1965. p.743

El riesgo puede ser descrito como la percepción de una situación riesgosa, de cómo las personas tienen una percepción de los peligros y como la opinión de la gente influenciará de una manera notable la opinión de ellos con respecto a un peligro asociado a una situación. Es un hecho que las personas aceptaran riesgos mas altos en la medida que sientan control sobre los procesos.

Riesgo como medida cuantitativa. Una mezcla de las matemáticas aplicadas y ingeniería permite dar una definición acerca de los que es el riesgo:

Riesgo = Consecuencia x Probabilidad

En ingeniería y un fragmento en la comunidad gerencial de riesgo industrial aceptan una forma alternativa de expresar el riesgo.

Riesgo = Frecuencia x Severidad

La anterior ecuación no es una definición diferente, sino una versión de la original.

Ambas ecuaciones expresan lo mismo. Probabilidad se relaciona con la frecuencia y la severidad es igual que consecuencia.

Probabilidad. Hay muchas maneras de desarrollar la probabilidad de ocurrencia para ciertos eventos, describe la naturaleza estocástica de la frecuencia de la ocurrencia del acontecimiento.

Probabilidad clásica. Es una cantidad matemática que solo puede tener valores entre cero y uno. Se define como el número de los acontecimientos deseados divididos por el número total de resultados posibles.

Consecuencias. Denotan la magnitud de pérdida, en otras las palabras, éstas son las penas asociadas a la ocurrencia de los acontecimientos del suceso. Dichas penas se clasifican básicamente en 5 categorías como se muestra en la Tabla 9.

3.3.2 Representación geométrica del riesgo. El riesgo es una función directa de sus dos factores, probabilidad y consecuencias ,en términos matemáticos, la probabilidad y la consecuencia de las variables, y el valor subsiguiente del riesgo pueden estar representado por una punta en un sistema coordinado de dos dimensiones. Cada ordenada representa el valor de la probabilidad y su valor correspondiente de la consecuencia.

Componentes operacionales del riesgo. Los componentes operacionales del riesgo poseen diferentes componentes primarios que son: riesgo del equipo, riesgo del producto y riesgo de las personas.

Tabla 9. Categorías de acuerdo a su clasificación.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
1	SEGURIDAD	<p>Esta categoría esta lejos de ser la mas importante. Las lesiones y las muertes causadas por un fallo del sistema tiene en claro posibles implicaciones de severidad. La pérdida de una vida o el dolor de lesión es imposible cuantificar completamente. Los costos de estos ítem salen a menudo del presupuesto corporativo, no del presupuesto individual de la planta.</p> <p>Los fallos de un sistema de seguridad tienen otras implicaciones y consecuencias de los acontecimientos de la seguridad-incidente que pueden afectar la corporación y la planta.</p>
2	PERDIDA DE PRODUCCIÓN	<p>Si una máquina que produce cierto producto falla, entonces la consecuencia pérdida de la producción puede ser cualquiera en términos del producto o en términos cuantificables de dinero que representa en no producir dicho producto.</p> <p>Si una máquina puede hacer diferentes tipos de productos, el cómputo de la producción pérdida en términos de dinero es mucho más complejo. El costo de la pérdida dependerá de cuantos productos se hubieran producido cuando la falla ocurre.</p> <p>Los diferentes productos tienen diversos márgenes de beneficio que deban también estar considerados en valores de la consecuencia de la falla. No existe ninguna formula general que incluye este tipo de factores.</p>
3	PERDIDA DE CALIDAD	<p>La calidad se ha desarrollado de un estatus muy teórico hacia una mirada mas en el ámbito de los negocios. Si un sistema falla afecta la calidad de un producto, produce una característica diversa, única y diferente de las consecuencias del fallo. Significa que la producción necesariamente no para, pero que la naturaleza del producto no está en el nivel requerido o esperado por el cliente.</p>
4	EFFECTOS DEL AMBIENTE	<p>Esto es una categoría difícil a cuantificar pero su costo en limpieza de los derramamientos ambientales es relativamente fácil de calcular. Los costos aumentan con el alcance de la falla, los modos de fallos desarrollaron la función de que cada falla pudiera ser graduada de manera mas precisa para describir las implicaciones potenciales de los daños ambientales de cada una de las fallas potenciales del sistema.</p>
5	COSTOS DE LA REPARACIÓN DEL MANTENIMIENTO	<p>Los costos de la categoría de reparación en mantenimiento son datos que requieren una descripción de la consecuencia, dichos datos son recolectados como parte de la actividad cotidiana.</p>

La medida operacional del riesgo comienza con la recopilación y clasificación de los datos en los procesos operacionales de una planta industrial durante operaciones normales de trabajo. Los pasos de progresión implicados con la recolección de dichos datos son:

- Observar la frecuencia y los costos atribuidas a los fallos de equipo.
- Recolectar información acerca de la frecuencia y los costos incurridos debido a fallas de la producción.
- Marcar los costos y las frecuencias de los incidentes que son relacionados con las personas que operan en la planta.

- Convertir todos los costos y las frecuencias obtenidas relacionadas con el riesgo en términos de dinero²⁰.

3.3.3 Cálculo del RPN. El número de prioridad del riesgo (RPN) es un producto matemático de la seriedad de los efectos (severidad), de la probabilidad que una causa creará el incidente asociado a esos efectos (ocurrencia), y de una capacidad de detectar el incidente antes de que llegue al cliente (detección).

El RPN se calcula según la siguiente ecuación:

$$\mathbf{RPN = S \times O \times D}$$

Se utiliza para ayudar a identificar los riesgos más serios, conduciendo a la acción correctiva. El examen de la ecuación revela que el método de RPN para evaluar riesgo es un sobreestimación. La severidad, la ocurrencia, y la detección no se manifiestan igualmente una con respecto a la otra en términos del riesgo.

EL resultado del RPN define la prioridad de la falla; y por si mismo carece de valor o significado. Este solo se usa para definir las potenciales deficiencias del sistema.

El RPN debe ser revisado luego de emprender cualquier acción sobre el sistema y que afecte la severidad o la ocurrencia, o la detección; no importa cuantas veces sea necesario hacerlo hasta que este cubra toda la información relevante, y pertinente a la acción tomada.

²⁰ Minton. "Fault Tree Faults. 1992. p.68-74

4. MODELO DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM

4.1 ESTUDIO Y PREPARACIÓN

Con el fin obtener mejores resultados, el proyecto se limita a los equipos de Manufacturas de Cemento S.A. Cota, y específicamente a la maquinaria industrial y a los equipos del área de automotriz. El objetivo es mejorar la planeación y ejecución del mantenimiento cuantificando la confiabilidad de los mismos aprovechando al 100% el SIM, AM como herramienta que maneja la base de datos. Dentro de este trabajo se mostrará el método de recolección de información y algunas aplicaciones o recomendaciones dentro del entorno de mantenimiento, por supuesto y como ya se había mencionado antes es necesario priorizar los equipos para direccionar el respectivo análisis.

Algunas preguntas específicas respecto a la aplicación del RCM se responden a continuación:

¿Qué se va a hacer?

- Cálculo de los indicadores básicos necesarios además de hacer diferentes análisis útiles al proceso, como TMEF, TMPR, Disponibilidad y Mantenibilidad.
- Medición de confiabilidad.
- Generar y modificar los planes de mantenimiento existentes para que presenten mejores condiciones económicas y operativas.

¿Cómo se va a hacer?

- Manejando el mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento proactivo de una manera óptima en la planta.
- Aplicando herramientas de RCM (Reliability Centered Maintenance), estrategia que busca mantener la función antes que la máquina.
- No buscamos apegarnos a una sola estrategia, sino tomar lo más conveniente de RCM dentro del contexto operativo de Manufacturas de Cemento S.A.

¿Con qué se va a hacer?

Con las diferentes herramientas del RCM; Análisis de criticidad, AMEF y medidas de confiabilidad, Además, se plantea el uso de los diferentes tipos de mantenimiento para tener una gestión óptima, las herramientas en este caso serían:

- Correctivo: Rapidez en la respuesta para corregir las consecuencias de la falla.
- Preventivo: Con estadística conocer la vida útil de componentes y reemplazarlos antes de la falla, recomendaciones del fabricante.
- Predictivo: Detectar los síntomas de falla. Termografía, análisis de aceites.
- Proactivo: Monitoreo de condiciones, control de las causas de falla. Análisis de lubricantes, análisis de vibraciones y capacitaciones.

4.2 DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA

En cuanto al nivel de planta o de sistema a aplicar el proceso RCM, se realizará el análisis de criticidad a los equipos de las secciones más relevantes de la planta como son Fabricación, Servicios y Automotriz, los cuales se resaltan en la Figura 39, para determinar más adelante en cual de estas secciones encontramos el equipo mas critico que será objeto puntual de nuestro como modelo en la aplicación RCM.

4.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS

Se planteó en la metodología que los equipos debían ser sometidos a un análisis de criticidad para determinar su importancia en la planta, para saber si, por ejemplo, usando metodología RCM se podría tener una nueva programación de mantenimiento teniendo en cuenta un Run to Failure (esperar hasta que se genere la falla para asistirla) o mantenimiento netamente correctivo dependiendo del equipo. Puede que en algunos equipos (ver Figura 40) se pueda tener este tipo de mantenimiento, mientras que en otros no sean recomendables estas estrategias pues una falla podría pararnos toda la planta o generarnos riesgos para los operarios o para el medio ambiente, o cualquier otra consecuencia de falla que afecte drásticamente la planta y su funcionamiento.

El análisis a seguir en este trabajo será el de los coeficientes de ponderación. En este método se elabora una tabla en que se establece un conjunto de criterios que tienen un valor y por tanto permiten que se tenga un valor inicial como guía para escoger los equipos más críticos. Se elabora una tabla en que se tienen los diferentes factores como los materiales, el grado de explotación, los criterios de mantenimiento y los económicos, ver Tabla 10.

Estos valores anteriores se suman dando un resultado que debe multiplicarse por un coeficiente de ponderación, los cuales son:

- **Valor 1:** Equipo auxiliar, proceso adjunto, equipos con duplicado.
- **Valor 2:** Equipos de importancia media, de apoyo a la producción, única existencia.
- **Valor 3:** Equipos de importancia vital para el proceso, única existencia, sin reemplazo.

Tabla 10. Criterios a tener en cuenta en el análisis

INTRÍNSECO DEL MATERIAL	
Criterio A	Complejidad Tecnológica
Simple	0
Complejo	1
Muy complejo	2
DE EXPLOTACIÓN	
Criterio B	Importancia del equipo en el proceso
Secundaria	0
Principal	1
Vital	2
Criterio C	Funcionamiento
Esporádica	0
Intermitente	1
Continuo	2
DE MANTENIMIENTO	
Criterio D	Costos directos de mtto.
Bajos	0
Medios	1
Elevados	2
ECONÓMICOS	
Criterio E	Valor de reemplazo por uno idéntico
Poco costoso	0
Costoso	1
Muy costoso	2
Criterio F	Costos indirectos (pérdida de producción)
Bajos	0
Medios	1
Elevados	2

El resultado del análisis aparece en la Tabla 11, que se muestra a continuación:

Tabla 11. Resultado del análisis de criticidad

Nombre: SKAKO

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	2	3	6	6
B	2	3	6	6
C	2	3	6	6
D	2	3	6	6
E	2	3	6	6
F	2	3	6	6
i =			36	36

Nombre: CARGADORES

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	3	3	6
B	2	3	6	6
C	1	3	3	6
D	1	3	3	6
E	2	3	6	6
F	2	3	6	6
i =			27	36

Nombre: MONTACARGAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	1	1	1
B	1	1	1	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1
E	1	1	1	1
F	0	1	0	1
i =			5	6

Nombre: PUENTE GRÚAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	0	1	0	2
B	2	1	2	2
C	1	1	1	2
D	1	1	1	2
E	1	1	1	2
F	1	1	1	2
i =			6	12 Continua....

Tabla 11. Resultado del análisis de criticidad. Continuación.

Nombre: MBK

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	3	3	6
B	2	3	6	6
C	2	3	6	6
D	1	3	3	6
E	2	3	6	6
F	2	3	6	6
i =			30	36

Nombre: MODUL

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	1	1	2
B	1	1	1	2
C	1	1	1	2
D	2	1	2	2
E	2	1	2	2
F	0	1	0	2
i =			7	12

Nombre: BETODAN

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	2	2	4
B	1	2	2	4
C	2	2	4	4
D	1	2	2	4
E	1	2	2	4
F	1	2	2	4
i =			14	24

Nombre: MESAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	0	1	0	2
B	0	1	0	2
C	2	1	2	2
D	0	1	0	2
E	0	1	0	2
F	0	1	0	2
i =			2	12 Continua....

Tabla 11. Resultado del análisis de criticidad. Continuación

Nombre: VIHYMATIC Y FLEXIMATIC

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	2	1	2	2
B	0	1	0	2
C	2	1	2	2
D	1	1	1	2
E	2	1	2	2
F	0	1	0	2
i =			7	12

Nombre: LONGINOTTI

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	2	3	6	6
B	2	3	6	6
C	2	3	6	6
D	1	3	3	6
E	2	3	6	6
F	2	3	6	6
i =			33	36

Nombre: COLUMBIA

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	2	3	6	6
B	2	3	6	6
C	2	3	6	6
D	2	3	6	6
E	2	3	6	6
F	1	3	3	6
i =			33	36

Nombre: CALDERAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	0	1	0	2
B	1	1	1	2
C	2	1	2	2
D	1	1	1	2
E	1	1	1	2
F	2	1	2	2
i =			7	12 Continua....

Tabla 11. Resultado del análisis de criticidad. Continuación

Nombre: COMPRESORES

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	1	1	2
B	2	1	2	2
C	2	1	2	2
D	0	1	0	2
E	0	1	0	2
F	2	1	2	2
i =			7	12

Nombre: BOMBAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	0	1	0	2
B	1	1	1	2
C	2	1	2	2
D	0	1	0	2
E	0	1	0	2
F	1	1	1	2
i =			4	12

Nombre: TRACTOMULAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	1	1	1	1
B	0	1	0	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1
E	1	1	1	1
F	0	1	0	1
i =			4	6

Nombre: GRC

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	0	1	0	1
B	0	1	0	1
C	0	1	0	1
D	0	1	0	1
E	0	1	0	1
F	1	1	1	1
i =			1	6 Continua....

Tabla 11. Resultado del análisis de criticidad. Continuación

Nombre: CAMIONETAS

Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
A	0	1	0	1
B	0	1	0	1
C	1	1	1	1
D	0	1	0	1
Criterio	Valor criterio	Coeficiente	Puntos	Puntos máximos
E	0	1	0	1
F	0	1	0	1
i =			1	6

Luego de la evaluación de los índices de acuerdo a los diferentes criterios se tienen los datos acerca de la criticidad de las máquinas en la planta, hay que tener en cuenta que este es un método subjetivo y se evalúa con base al conocimiento de la planta que tienen los autores, pero nos permite tener una idea de los equipos que son más claves en la planta, la Tabla 12, nos muestra los equipos organizados de mayor a menor de acuerdo a la criticidad y evaluada respecto al nivel de criticidad con el método de los coeficientes de ponderación.

Tabla 12. Índices de criticidad obtenidos

	MÁQUINA	ÍNDICE	NIVEL DE CRITICIDAD
1.	SKAKO	36	C
2.	COLUMBIA	33	C
3.	Longinotti	33	C
4.	MBK	30	C
5.	Cargadores	27	C
6.	BETODAN	14	MC
7.	MODUL	7	NC
8.	VihyFleximatic	7	NC
9.	Calderas	7	NC
10.	Compresores	7	NC
11.	Puente grúas	6	NC
12.	Montacargas	5	NC
13.	Bombas	4	NC
14.	Tractomulas	4	NC
15.	Mesas	2	NC
16.	GRC	1	NC
17.	Camionetas	1	NC

En la tabla anterior se puede notar el nivel de criticidad para la maquinaria. El análisis es subjetivo pero nos da un punto de partida para el desarrollo de esta monografía. Adicionalmente el análisis confirma que el equipo SKAKO del proceso de Mezclado correspondiente a la sección de Fabricación es el más crítico dentro de la planta y por tanto éste será el sistema para mostrar la implementación del RCM en esta monografía. En conclusión este orden se sugiere para la implementación del método RCM teniendo en cuenta el análisis anterior y el conocimiento de la planta por parte de los autores como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Orden de aplicación del RCM sugerido

MÁQUINA
SKAKO
Longinotti
GRC
Cargadores
BETODAN
MODUL
ViHyFleximatic
Montacargas
Puente grúa
Calderas
Compresores
Bombas
Tractomulas
Mesas
Camionetas

4.4 TRATAMIENTO DE LOS ÍTEMS NO CRÍTICOS

Estos equipos hacen parte importante en la estructura productiva de la empresa y aunque la aplicación del RCM admite que a los componentes considerados como no críticos se les deje operar hasta su fallo sin aplicarles ningún tipo de mantenimiento preventivo, se les ha aplicado también el proceso RCM, que por motivos de cantidad de información contenida en esta monografía, no serán presentados.

4.5 COLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Como se había mencionado anteriormente el sistema de fabricación de mezcla SKAKO será el ejemplo de aplicación de la metodología RCM en esta monografía.

Los equipos que forman parte de este sistema se muestran en la Tabla 14.

También recolectamos información relevante operacional y características técnicas de los equipos de este sistema que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 14. Equipos del proceso de fabricación de mezcla

EQUIPOS DEL SISTEMA SKAKO – PROCESO DE MEZCLADO		2
DOSIFICADORES 1	DOS	01
DOSIFICADORES 2	DOS	02
DOSIFICADORES 3	DOS	03
DOSIFICADORES 4	DOS	04
DOSIFICADORES 5	DOS	05
DOSIFICADORES 6	DOS	06
BANDA PESAJE	BAN	07
SKIP	SKI	08
MEZCLADORA SKAKO	MEZ	09
MEZCLADORA OMG	MEZ	10
TORNILLO SIN FIN 1 (SILO1)	TOR	11
TORNILLOS SIN FIN 2 (SILO2A)	TOR	12
TORNILLOS SIN FIN 3 (SILO2B)	TOR	13
TORNILLOS SIN FIN 4 (DISTRIB.)	TOR	14
TOLVA CEMENTO 1	TOL	15
TOLVA CEMENTO 2	TOL	16
CUBO MOVIL	CUB	17
TORNILLO SIN FIN 5 (SILO 3)	TOR	18
TORNILLO SIN FIN 6 (MH.LONG.)	TOR	19
TORNILLO SIN FIN 7 (MS.LONG.)	TOR	20

Tabla 15. Características técnicas de los equipos del sistema SKAKO

SKIP SKAKO				
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
Volumen de carga	1500	lt		
Capacidad de carga	2000	kg		
Voltaje motor	440/220	V		
Potencia motor	15	Kw		
Tipo de motor	Trifásico	x		
RPM del motor	1750	x		
Peso propio	1650	kg		
Cable de acero	7/16"- 6x26	x		
Velocidad del skip	19/25	m/min		
Temperatura	20	°C	65	
Continua...				

Tabla 15. Características técnicas de los equipos del sistema SKAKO. Continuación.

MEZCLADORA				
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
Motores	1750	r.p.m		
Potencia	30	H.p		
Capacidad	1500	Lt		
Palas mezcladoras	4	x		
Palas raspadoras	2	x		
Espesor de paredes	12	mm		
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
Espesor pisos	16	mm		
Material pisos	Nihard – 4	x		

3 TORNILLOS ST166				
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
R.P.M Motor reductor	40/20	r.p.m		
Longitud	8	m		
Diámetro entrada	323	mm		
Diámetro del tubo	193	mm		
Diámetro salida	193	mm		
Inclinación	37	°	45	0
Potencia motor	7.8/5	kW	7,8	5
Si se trabaja con Sílice el ángulo máximo es de 35°				

CUBO MÓVIL BC 1500 DS				
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
Velocidad	1,5/1.2	m/s	2	0,3
Potencia del motor alta	4 / 5.5	kW		
Motor para volteo	3 / 4	kW		
Capacidad de carga	2400	kg		0
Volumen de carga	1000	lt	1650	0
Peso propio	975	kg		
Peso con carga	3375	kg		
Ancho de los rieles	1.66	m		
Inclinación máxima de riel	1.5%	%	8	-8

Continua....

Tabla 15. Características técnicas de los equipos del sistema SKAKO.
Continuación.

SB650			BANDA PESAJE	
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
RPM motor	1800	rpm		
Potencia motor	5,5	kW		
Velocidad banda transportadora	1,5	m/s		
Presión neumática	7	bar		6
Frecuencia vibrador	60	Hz	60,5	55,5
Voltaje vibrador	300	V		
Inclinación cinta transportadora	0	°	20	

CW600		TOLVA BÁSCULA DE CEMENTO		
CARACTERÍSTICA	NOMINAL	UNIDADES	MÁXIMO	MÍNIMO
Diámetro válvula de mariposa	300	mm		
Presión neumática	7	bar		6

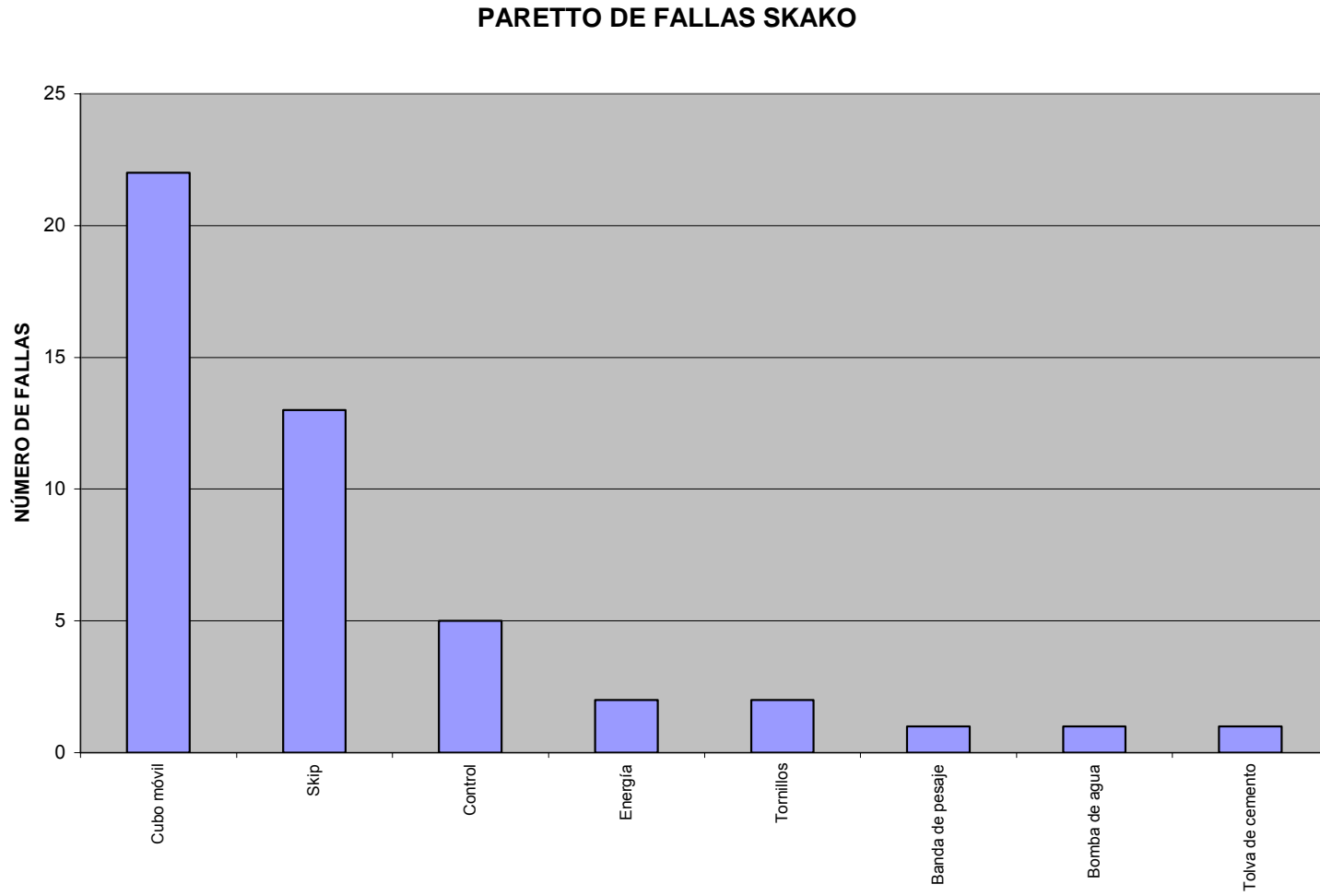
Se realizó también un análisis de la cantidad de fallas presentadas por el sistema SKAKO durante lo corrido del ultimo semestre del año 2005, ver Tabla 16, datos obtenidos del SIM AM que posee la compañía, esto con el fin de determinar a que equipo de este sistema debemos aplicar el análisis FMEA.

Tabla 16. Fallas del Sistema Skako último semestre

FALLA	PARTE	NÚMERO DE VECES
Ajustes cubo móvil	Cubo móvil	1
Revisión y ajuste frenos mecánicos	Skip	5
Corte eléctrico	Control	2
Soldar cable en la salida cable de alimentación		1
Ajuste y limpieza de calzoncillo	Tolva de cemento	1
Ajuste y revisión	Banda pesaje	1
Revisión tornillo sinfín por atascamiento	Tornillo transportador	2
Reparación fusible	Mezcladora	1
Parada	Cubo móvil	18
Estrellada con estación	Cubo móvil	1
Daño sensor de freno	Skip	3
Falla en rueda	Skip	2
Se dispara el interruptor de emergencia	Skip	1
Mantenimiento UPS	Control	2
Falta de agua	Bomba	1
Reseteado programa de descargue por mal funcionamiento	Control	1
Revisión señal de parada	Cubo móvil	1
Skip atascado	Skip	2
Breaker de alimentación	Cubo móvil	1

Al consolidar la información de la tabla anterior se llegó a la conclusión que el equipo Cubo Móvil fue el que mas fallas reporto durante el periodo de análisis propuesto, Ver Figura 41. Por tal motivo este equipo será el escogido para mostrar el correspondiente análisis FMEA. El análisis FMEA de los demás equipos del sistema SKAKO se presenta como información en el anexo E.

Figura 41. Gráfica Pareto de fallas del Sistema Skako



4.6 ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLO Y SUS EFECTOS

Para este análisis tomamos como ejemplo el equipo Cubo Móvil del sistema Skako, para la calificación de la severidad, detección y probabilidad de falla (ocurrencia), dentro del análisis FMEA se tienen en cuenta los valores que se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Calificación severidad, detección y ocurrencia.

Efecto	SEVERIDAD	Valor
Peligroso sin alerta	Valor de severidad muy alto cuando un modo de falla potencial afecta la operación del sistema sin alerta	10
Peligroso con alerta	Valor de severidad muy alto cuando un modo de falla potencial afecta la operación del sistema con alerta	9
Muy alto	Sistema inoperable con pérdida de función primaria	8
Alto	Sistema inoperable con equipo dañado	7
Moderado	Sistema inoperable con daños menores	6
Bajo	Sistema inoperable sin daños	5
Muy bajo	Sistema operable con una significativa degradación de rendimiento	4
Menor	Sistema operable con una degradación de rendimiento	3
Muy menor	Sistema operable con mínima interferencia	2
Ninguno	No hay efectos	1
Detección	DETECCIÓN	Valor
Absoluta incertidumbre	El control del diseño no puede detectar una causa potencial / mecanismo y modo de fallo subsecuente	10
Muy remota	Muy remota la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	9
Remota	Remota la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	8
Muy baja	Muy baja la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	7
Baja	Baja la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	6

Continua....

Tabla 17. Calificación severidad, detección y ocurrencia.
Continuación

Moderada	Moderada la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	5
Muy moderada	Muy moderada la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	4
Alta	Alta la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	3
Muy alta	Muy alta la probabilidad del control de diseño para detectar causas potenciales / mecanismos y modos de fallos subsecuentes	2
Casi seguro	Control de diseño detectará causas potenciales/ mecanismos y modos de fallos subsecuentes	1
Probabilidad	PROBABILIDAD DE FALLA	Valor
Muy alta : Fallas casi inevitables	>1 in 2	10
	1 in 3	9
Alta: Fallos repetitivos	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderadas: Fallas ocasionales	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Baja: Pocas fallas relativamente	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remota: Falla inverosímil	<1 in 1,500,000	1

A continuación se muestra en la Figura 42, el análisis FMEA para el equipo Cubo Móvil del sistema Skako:

Figura 42. Análisis FMEA para el equipo Cubo Móvil

Sistema		SKAKO	Modos de Falla y análisis de efectos							Numero FMEA	5				
Subsistema		CUBO MÓVIL	Potenciales							Elaborado por	Mauricio González				
Componente			MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A TITÁN							Fecha FMEA	Noviembre 1 de 2005				
Diseño		Skako	Fecha							Noviembre 1 de 2005	Fecha de Revisión				
Equipo de Análisis		Departamento de Mantenimiento, Manufacturas de Cemento S.A.													
											Resultados de las acciones				
Parte	Función	Modo(s) Potencial(es) de Falla(s)	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	Causa(s) Potencial(es)	O c u	Diseño de controles	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	No hay movimiento en alguno de los sentidos	Parada de producción, demoras en la reparación por el acceso difícil	9	Fallas motores eléctricos	7	El sistema detecta que no se mueve el cubo, pero no sabe si la falla se origina en los sistemas eléctricos	4	252	Inspecciones eléctricas, MC	Mant. eléctrico, programador				
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	No hay movimiento en alguno de los sentidos	Parada de producción	9	No hay fluido eléctrico	4	El sistema no tiene control sobre este tipo de falla, si el corte es general se tiene sistema auxiliar	2	72	Mantenimiento del sistema de emergencia, inspecciones eléctricas, mant. de la red	Mant. eléctrico				
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	No hay movimiento en alguno de los sentidos	Parada de producción, demoras en la reparación por el acceso difícil	9	Transmisión rota (cadenas o poleas)	2	El control no detecta esta falla	10	180	Inspecciones mecánicas, mant. preventivo	Mant. industrial, programador				
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	No hay movimiento en alguno de los sentidos	Parada de producción, demoras en la reparación por el acceso difícil	9	Fracturas de elementos	2	El control no detecta esta falla	10	180	Inspecciones mecánicas, mant. preventivo	Mant. industrial, programador				
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	La velocidad de traslación no es la adecuada	Ineficiencia en el sistema, esta situación prevee la falla y debe pararse la máquina para inspección	8	Fallas en la alimentación, problemas de motor	5	El sistema no detecta fácilmente estas fallas, menos las de los motores	9	360	Inspecciones eléctricas, MC, mantenimiento del sistema de emergencia	Mant. eléctrico				

Parte	Función	Modo(s) Potencial(es) de Falla(s)	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	Causa(s) Potencial(es)	O c u	Diseño de controles	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	La velocidad de traslación no es la adecuada	Ineficiencia en el sistema, posible implicación de la seguridad industrial, se puede propagar la falla a otros sistemas	10	Falla en los frenos eléctricos	5	El sistema no detecta fácilmente esta falla	7	350	Inspecciones eléctricas, MC	Mant. eléctrico, programador					
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	Ruido o temperatura excesivos	Sintoma de falla en el sistema, se puede tener una falla dentro del sistema que genere parada de producción	10	Desajustes en elementos mecánicos	5	El sistema no detecta esta falla fácilmente, pero algunos sensores pueden generar datos para el control	7	350	Inspecciones eléctricas y mecánicas, mant. preventivo y MC	Mant. eléctrico, e industrial, programador					
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	Ruido o temperatura excesivos	Degaste excesivo de elementos, posible inicio de falla por condiciones inapropiadas de	10	Problemas en la lubricación del equipo	6	El sistema no detecta esta falla	10	600	Plan de lubricación, inspecciones mecánicas	Mant. industrial, programador					
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	El sistema no para en el sitio determinado, puede llegar a botar el material	Puede afectarse la seguridad industrial, ineficiencia del sistema, puede generar una parada de producción	10	Problemas en los frenos o los motores	5	El sistema no detecta fácilmente esta falla	7	350	Inspecciones eléctricas, MC	Mant. eléctrico, programador					
Sistema motriz	Provee la potencia necesaria para mover el cubo móvil a lo largo de los rieles	El sistema no para en el sitio determinado, puede llegar a botar el material	Puede afectarse la seguridad industrial, ineficiencia del sistema, puede generar una parada de producción	10	El control no envía la señal necesaria para la parada en cada estación	6	El sistema no puede detectar la falla pues ésta se origina en la sensorica	9	540	Inspecciones de la sensorica del sistema, inspecciones eléctricas programadas	Mant. eléctrico					
Sistema de volteo	Hace girar el cubo para la descarga	El cubo no gira o lo hace lentamente	Ineficiencia del sistema, puede ser sintoma de falla y puede que sea necesario para la producción	8	Problemas eléctricos con los motores	5	El sistema detecta los tiempos de giro del cubo, puede generar alarma	4	160	Ins. Eléctricas programadas, MC	Mant. eléctrico y mecánico					

Parte	Función	Modo(s) Potencial(es) de Falla(s)	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	Sev	Causa(s) Potencial(es)	Ocu	Diseño de controles	Det	RPN	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
Sistema de volteo	Hace girar el cubo para la descarga	El cubo no gira o lo hace lentamente	Ineficiencia del sistema, desgaste prematuro de elementos, condiciones inapropiadas de	8	Problemas con el freno del sistema	5	El sistema detecta tiempos de giro, puede generar señal por este modo de falla	4	160	Ins. Mecánicas, programación de calibración del freno del sistema	Mant. eléctrico, programador					
Sistema de volteo	Hace girar el cubo para la descarga	El cubo no gira o lo hace lentamente	Se pueden generar fallas y malas condiciones de operación en diferentes partes de la máquina	8	Elementos con fracturas o interferencias mecánicas	3	El sistema detecta tiempos de giro, pero no detecta golpes o interferencias	6	144	Inspecciones mecánicas para evitar golpes entre elementos, ajustes	Mant. industrial, programador					
Sistema de volteo	Hace girar el cubo para la descarga	El cubo no vuelve a su posición generando problemas en la descarga de la mezcladora	Ineficiencias del sistema, puede implicarse la seguridad industrial, se debe hacer una parada de producción para hacer las correcciones necesarias	8	Problemas en la señal de control o la sensorica	4	El sistema no detecta esta falla pues depende del funcionamiento de los sensores	10	320	Inspecciones eléctricas a la sensorica del sistema, conocimiento del sistema SKAKO por parte del operador	Mant. eléctrico, operarios, sistemas					
Sistema de volteo	Hace girar el cubo para la descarga	El cubo no vuelve a su posición generando problemas en la descarga de la mezcladora	Se pueden generar fallas y malas condiciones de operación en diferentes partes de la máquina	8	Interferencias mecánicas	3	El sistema detecta tiempos de giro, pero no detecta golpes o interferencias	6	144	Inspecciones mecánicas para evitar golpes entre elementos, ajustes	Mant. industrial, programador					
Brazo paro de emergencia	Evita que el cubo salga de los rieles en una condición anormal de operación	El cubo, en una situación de emergencia, puede llegar a salir de los rieles o chocar con aparatosamente con elementos interpuestos en su trayectoria	No funciona el sistema o reacciona con tiempo insuficiente	10	El sensor no funciona	4	El sistema no detecta esta falla	10	400	Calibración frecuente del sistema, inspecciones eléctricas	Mant. eléctrico, programador					
Brazo paro de emergencia	Evita que el cubo salga de los rieles en una condición anormal de operación	El cubo, en una situación de emergencia, puede llegar a salir de los rieles o chocar con aparatosamente con elementos interpuestos en su trayectoria	No funciona el sistema o reacciona con tiempo insuficiente	10	Los elementos del sistema no están bien calibrados o acoplados	5	El sistema no detecta esta falla	10	500	Calibración frecuente del sistema, inspecciones eléctricas	Mant. eléctrico, programador					

Parte	Función	Modo(s) Potencial(es) de Falla(s)	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	S e v	Causa(s) Potencial(es)	O c u	Diseño de controles	D e t	R P N	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
Colector de corriente	Conduce electricidad necesaria para el sistema	No transmite energía	No hay potencia para el cubo, parada de producción	10	Fallas en las conexiones, problemas en la línea	4	Hay alarma para avisar sobre este modo de falla, hay protecciones eléctricas en el sistema	5	200	Inspecciones eléctricas, MC	Mant. eléctrico, programador					
Colector de corriente	Conduce electricidad necesaria para el sistema	No transmite energía	No hay potencia para el cubo, parada de producción	10	No hay fluido eléctrico	2	Se tiene sistema de emergencia si la falla es general, si es únicamente para el colector no se tiene un sistema definido	5	100	Sistema de emergencia de corte de energía, inspecciones eléctricas, mant. preventivo	Mant. eléctrico, programador					
Colector de corriente	Conduce electricidad necesaria para el sistema	Tiene pérdidas excesivas, recalentamiento	Pérdida de potencia para el sistema, degradación de elementos conductores	4	Resistividad alta en el elemento, puede ser por elementos extraños en el circuito	6	Hay protecciones eléctricas contra estas elevaciones en el consumo y altas temperaturas	4	96	Inspecciones eléctricas, mantenimientos programados	Mant. eléctrico, programador					
Colector de corriente	Conduce electricidad necesaria para el sistema	Tiene pérdidas excesivas, recalentamiento	Parada de producción, puede afectar la seguridad industrial y daño permanente del equipo	10	Corto en alguna parte del circuito	5	Hay protecciones eléctricas contra estas elevaciones en el consumo y altas temperaturas	4	200	Inspecciones eléctricas a los sistemas de seguridad y conducción de electricidad	Mant. eléctrico, programador					
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Vibraciones excesivas	Desgaste excesivo de elementos, posible inicio de falla por condiciones inapropiadas de operación	7	Deformaciones en el riel	3	No hay control en esta falla, en el montaje del equipo se garantizó buena operación, difícilmente las condiciones físicas de los rieles se cambian	9	189	Inspecciones visuales junto con las eléctricas para determinar estado de rieles, evitar operaciones que puedan afectar su disposición física	Mant. eléctrico, operarios					

Parte	Función	Modo(s) Potencial(es) de Falla(s)	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	Sev	Causa(s) Potencial(es)	Ocu	Diseño de controles	Det	RPN	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Vibraciones excesivas	Condiciones inapropiadas de operación, puede desgastar las partes en contacto e incluso afectar la seguridad industrial	7	Velocidades excesivas	3	Las velocidades de operación están controladas por la disposición del sistema	7	147	Control de las condiciones de operación del cubo móvil, control de velocidades	Mant. eléctrico y mecánico					
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Vibraciones excesivas	Condiciones inapropiadas de operación, puede desgastar las partes en contacto e incluso afectar la seguridad industrial	7	Interferencias mecánicas en los elementos de rodadura	4	El control no detecta esta falla	10	280	Aseo y control de la superficie de los rieles, no lubricar.	Mant. industrial y eléctrico					
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Vibraciones excesivas	Desgaste excesivo de elementos, posible inicio de falla por condiciones inapropiadas de	7	Fallas en las ruedas del cubo	3	El control no detecta esta falla	10	210	Inspecciones mecánicas para tener conocimiento del estado de elementos	Mant. industrial, programador					
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Desgaste excesivo	Condiciones inapropiadas de operación, puede desgastar las partes en contacto e incluso afectar la seguridad industrial	7	Interferencias mecánicas en los elementos de rodadura	4	El control no detecta esta falla	10	280	Aseo y control de la superficie de los rieles, no lubricar.	Mant. industrial y eléctrico					
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Desgaste excesivo	Condiciones inapropiadas de operación, puede desgastar las partes en contacto e incluso afectar la seguridad industrial	10	Sobrecargas	2	El sistema tiene elementos de pesaje que evitan esta condición	1	20	Inspecciones mecánicas y eléctricas, manejo y control del sistema SKAKO por parte de los operarios	Sistemas, operarios					

Parte	Función	Modo(s) Potencial(es) de Falla(s)	Efecto(s) Potencial(es) de Falla(s)	Sev	Causa(s) Potencial(es)	Ocu	Diseño de controles	Det	RPN	Accion(es) Recomendada(s)	Responsable y Fecha Objetivo	Accion(es) Tomada(s)	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN
Rieles	Definen la trayectoria del cubo móvil, le proporcionan apoyo y energía	Desgaste excesivo	Condiciones inapropiadas de operación, puede desgastar las partes en contacto e incluso afectar la seguridad industrial	10	Mal montaje	3	El sistema se entrega garantizado, pero el control no detecta fallas en ajustes posteriores	6	180	Inspecciones mecánicas al sistema de transporte de rieles	Mant. industrial					

4.7 SELECCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Luego de aplicar el modo de falla y análisis de efecto al equipo cubo móvil, se encontraron 28 posibles causas de falla, de las cuales seleccionaremos la de mayor número prioritario de riesgo (NPR) como ejemplo para mostrar en la monografía, ver Tabla 18. A esta causa de falla le aplicaremos la técnica Árbol Lógico de Decisión (ALD), el cual sirve como herramienta sistemática y homogénea para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis.

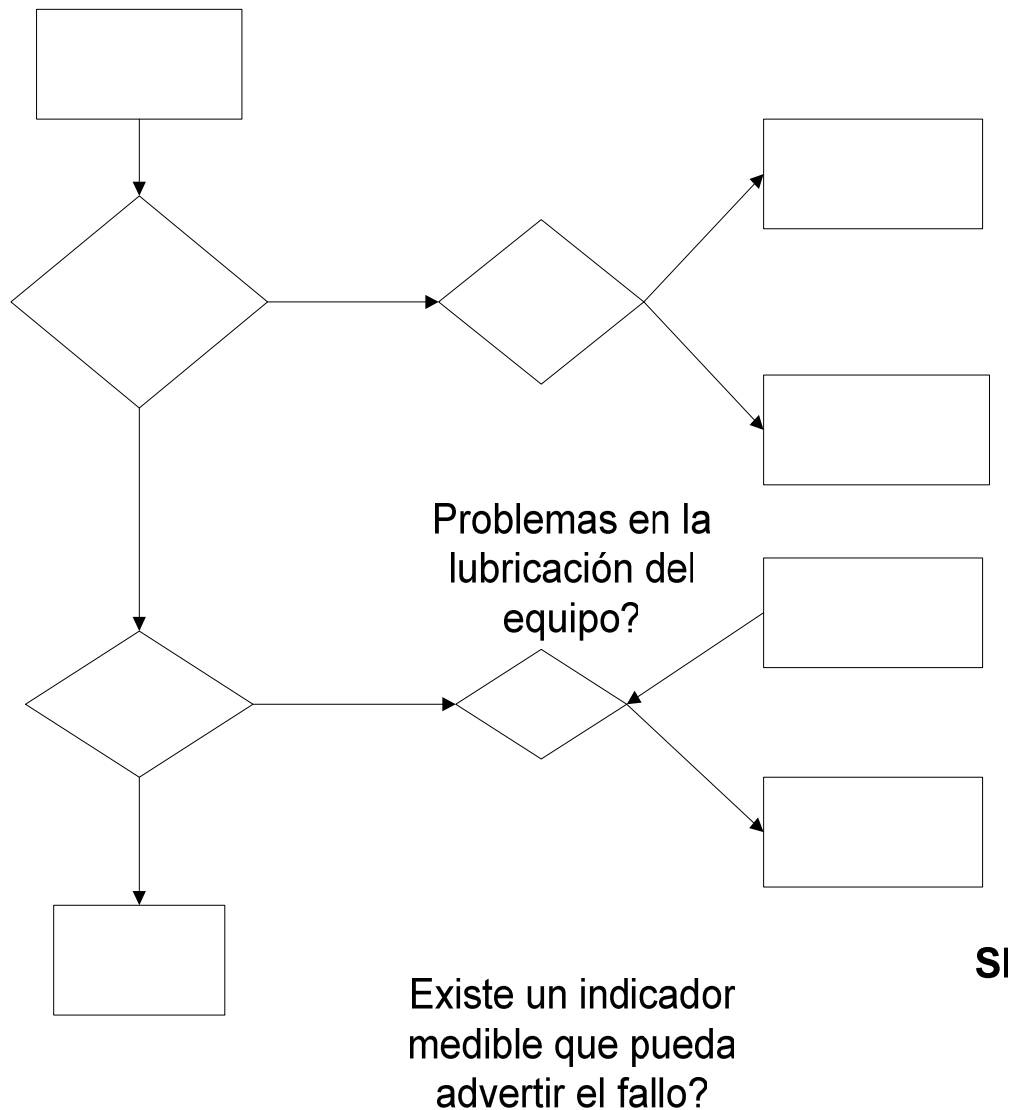
Para la construcción de este ALD, se deberán definir previamente los criterios a considerar y sus prioridades correspondientes. Así por ejemplo, se podrá dar prioridad a la prevención del fallo frente a su corrección, a la aplicación de técnicas de mantenimiento basadas en la condición operativa del equipo frente a actividades periódicas de mantenimiento o considerar aspectos tales como la evidencia de los fallos para los operadores cuando dichos fallos ocurren.

Tabla 18. Causas potenciales de falla Cubo Móvil

CUBO MOVIL		
#	CAUSA(S) POTENCIAL(ES) DE FALLA	RPN
1	Problemas en la lubricación del equipo	600
2	El control no envía la señal necesaria para la parada en cada estación	540
3	Los elementos del sistema no están bien calibrados o acoplados	500
4	El sensor no funciona	400
5	Fallas en la alimentación, problemas de motor	360
6	Falla en los frenos eléctricos	350
7	Desajustes en elementos mecánicos	350
8	Problemas en los frenos o los motores	350
9	Problemas en la señal de control o la sensórica	320
10	Interferencias mecánicas en los elementos de rodadura	280
11	Interferencias mecánicas en los elementos de rodadura	280
12	Fallas motores eléctricos	252
13	Fallas en las ruedas del cubo	210
14	Fallas en las conexiones, problemas en la línea	200
15	Corto en alguna parte del circuito	200
16	Deformaciones en el riel	189
17	Transmisión rota (cadenas o poleas)	180
18	Fracturas de elementos	180
19	Mal montaje	180
20	Problemas eléctricos con los motores	160
21	Problemas con el freno del sistema	160
22	Velocidades excesivas	147
23	Elementos con fracturas o interferencias mecánicas	144
24	Interferencias mecánicas	144
25	No hay fluido eléctrico	100
26	Resistividad alta en el elemento, puede ser por elementos extraños en el circuito	96
27	No hay fluido eléctrico	72
28	Sobrecargas	20

La causa de falla más relevante encontrada fue por problemas en la lubricación del equipo en donde la severidad fue calificada con 10, la ocurrencia con 6 y la detección con 10. En la siguiente Figura se muestra la técnica ALD aplicada a esta causa de falla. Ver Figura 43

Figura 43 Árbol lógico de decisión para el cubo móvil



El resultado de este análisis recomienda una inspección periódica, tratando de detectar esta falla visualmente, como también el de implementar estas partes del cubo móvil dentro de un ruta de lubricación e incluidas en el plan de lubricación al igual que las inspecciones mecánicas.

El resultado de esta tarea es un ejemplo del conjunto de actividades de mantenimiento recomendadas para cada equipo analizado. En la Tabla 19, Se define el contenido concreto de las actividades mecánicas específicas y en la Tabla 20 las inspecciones que deben realizarse y sus frecuencias de ejecución correspondientes.

NO

SI

Tabla 19. Plan de actividades de mantenimiento para el cubo móvil

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO SKAKO POR FRECUENCIA

EQUIPO	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA POR M3 (para un promedio de 183 m3/día)			
		1309	2618	5236	31416
CUBO MOVIL	limpieza de todas las piezas del cubo	X			
CUBO MOVIL	Engrase cojinetes basculante	X			
DOSIF. AGUA	control de los inyectores que dispersan el agua correctamente	X			
ELECTRICO	control de los cierres y botones de accionamiento junto con símbolos	X			
FILTRO	limpiar el tejido filtrante (mangas)	X			
MEZCLADORA	engrase del segmento de junta del engranaje principal	X			
MEZCLADORA	vaciar separador de agua, revisar y rellenar con lubricante (unidad neumática)	X			
MEZCLADORA	ajuste de los pernos palas, brazos y palas laterales	X			
VIB. 20D	limpieza y control de vibrador	X			
VIB. 20D	controlar capacidad (medición) mtto eléctrico	X			
BANDA DE PESAJE	revisión correa trapezoidal-eventualmente ajustar		X		
CUBO MOVIL	probar el sistema de seguridad, la brida de paro emergencia y volteo manual		X		
TOLVA PES.	desmontar el tubo de caucho flexible de compensación de presión y controlar que no este atascado		X		
DOSIF. AGUA	control de los inyectores que riegan directamente al hormigón		X		
ADITIVOS	control de bomba y válvula de vaciado			X	
BANDA DE PESAJE	revisión tensión banda transportadora			X	
CUBO MOVIL	engrase de las cadenas para la función móvil traslación			X	
CUBO MOVIL	engrase de las cadenas para la función basculante			X	
CUBO MOVIL	engrase sistema de articulación en suspensiones de ruedas (chumaceras)			X	
CUBO MOVIL	examinar propulsión cadena para función móvil y basculante - ajustar -			X	
CUBO MOVIL	examinar transmisión por correa en v para función móvil y basculante			X	
CUBO MOVIL	examinar fuelle de caucho en los cojinetes entre chasis y cubo			X	
CUBO MOVIL	controlar el colector de corriente - eventualmente cambiar carbón - mtto eléctrico			X	
DOSIF. AGUA	examen y análisis de las conexiones de agua y aire comprimido (fugas)			X	
MEZCLADORA	engrase de las bisagras de las compuertas superiores			X	
MEZCLADORA	comprobar que no hayan escapes en el sistema de aire comprimido			X	
MEZCLADORA	control del nivel aceite en el engranaje			X	
SKIP	engrasar las ruedas de trampilla, cojinetes de brida y la polea para cable			X	
SKIP	control del momento de frenado y la correa trapezoidal			X	
SKIP	control de la cerradura del cable metálico			X	
SKIP	control del interruptor de corriente principal			X	
BANDA DE PESAJE	examinar los rodillos portadores y los de retorno				X
BANDA DE PESAJE	revisión de las celdas de carga				X
MEZCLADORA	examinar conductos de aire- controlar válvula magnética (sistema aire)				X
CUBO MOVIL	engrase de bisagras de las compuertas de inspección				X
CUBO MOVIL	control del nivel aceite del engranaje móvil				X
CUBO MOVIL	control nivel aceite engranaje basculante				X
CUBO MOVIL	control del caucho puertas de inspección				X
CUBO MOVIL	ajuste general tornillería				X
CUBO MOVIL	examinar ruedas y cojinetes ruedas				X
SILOS	revisión y ajuste junta de unión sinfín y controlar abrazaderas de apriete				X
SILOS	controlar la función de abrir / cerrar de la válvula				X
SINFÍN	revisar los cojinetes intermedios (solo en sinfines de mas de 4.5 m) (centradores)				X
ELECTRICO	ajuste de todos los empalmes armario e interruptores etc.				X

4.8 INDICADORES DE GESTIÓN PARA MANTENIMIENTO

Las organizaciones apuntan a maximizar sus capacidades productivas y disminuir costos operativos, para el mantenimiento esto significa aumentar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de los equipos, teniendo muy en cuenta los costos asociados a estas tareas. Es posible por medio de seguimiento de indicadores conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

Para estos se crearon diferentes indicadores, los cuales permiten entrar en la clasificación de Mantenimiento Clase Mundial, donde se controlan cuidadosamente los indicadores de gestión para tener un mantenimiento óptimo en cualquier empresa. La Gerencia de Mantenimiento actual está cambiando los valores viejos por nuevos paradigmas a seguir, la práctica de la Ingeniería de la Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de indicadores y la mejora en la disponibilidad, junto con la reducción de costos, lo que permite un manejo óptimo del sistema de mantenimiento, lo cual se plantea con el desarrollo de este trabajo.

Los indicadores de Clase Mundial que se recomienda seguir son los siguientes:

TMEF (Tiempo Medio Entre Fallas): Este indicador muestra el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla, mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad. Para hallar el valor de este indicador se debe recurrir al historial de fallas del equipo

TMPR (Tiempo Medio Para Reparar): Es la medida de la distribución del tiempo de reparación, mide la efectividad en restituir un sistema a condiciones óptimas de operación una vez que se encuentra fuera de servicio por una falla, dentro de un período de tiempo determinado.

Disponibilidad: Este indicador permite estimar de forma global el porcentaje de tiempo en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TMEF y el TMPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad. Se propuso medir la disponibilidad de esta manera pero ya se hacía con el seguimiento del tiempo programado de producción menos el tiempo de mantenimiento, todo esto sobre el total del tiempo programado, lo que da un indicador real de la disponibilidad de las máquinas. De todas maneras el indicador

se mantiene como una alternativa de medición indirecta que puede ser útil pues la planilla desde la cual se toman los datos la llenan los operarios de producción y en algunas oportunidades no colocan los datos reales de las fallas o la operación.

Mantenibilidad: Se define como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

Algunos de estos indicadores pueden llevarse automáticamente en el AM, pero para eso es necesario usar el módulo de Paros, lo que no se hace en este momento, se está controlando toda la parte de indicadores con Excell, pero se plantea como una alternativa el control con AM, aunque es un trabajo complicado por la cantidad de máquinas de la planta, esto se puede tomar como un punto para optimizar el uso del AM.

4.9 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

El criterio de la selección de las tareas de mantenimiento usadas en el RCM, tiene dos requisitos:

- Aplicabilidad. un programa de mantenimiento es aplicable, cuando este puede eliminar la falla, o reducir la probabilidad de ocurrencia hasta un nivel aceptable, reduciendo el impacto de las fallas.
- Efectividad. significa que el costo de las tareas de mantenimiento es menor que los costos de las fallas. Las tareas del programa de mantenimiento definidas.

4.10 IMPLANTACIÓN DE RECOMENDACIONES

Una vez seleccionadas las actividades de mantenimiento consideradas más eficientes para los diferentes componentes analizados, se establecen las recomendaciones finales del estudio RCM y se lleva a cabo su implantación.

En primer lugar, se efectúa la comparación de las tareas de mantenimiento vigentes en la instalación con las recomendaciones del análisis RCM. El resultado de esta actividad es el conjunto final de tareas de mantenimiento que se propone aplicar a cada componente.

Dichas tareas finales de mantenimiento habrán surgido de aplicar los siguientes criterios:

- Si una tarea vigente de mantenimiento en la planta no ha sido recomendada por el estudio RCM, se propondrá su anulación.
- Si una tarea de mantenimiento recomendada por el estudio RCM no se está aplicando en la actualidad, se propondrá su incorporación al plan de mantenimiento.
- Si una tarea vigente de mantenimiento en la planta coincide con una tarea recomendada por el estudio RCM, se propondrá su retención.
- Si la frecuencia de una tarea vigente de mantenimiento en la planta no coincide con la de una tarea recomendada por el estudio RCM con el mismo contenido, se propondrá su modificación.

A partir de dichas recomendaciones finales, se deberá proceder a la redacción del nuevo plan de mantenimiento que se propone para la instalación. Para ello, es imprescindible la aprobación de las recomendaciones propuestas por parte de la gerencia, quien además fijará los criterios de aplicación y asignará los recursos necesarios.

La elaboración del nuevo plan de mantenimiento, además de las bases técnicas de mantenimiento obtenidas con el análisis RCM, requerirá considerar otros aspectos tales como los compromisos existentes, ajenos al mantenimiento, que implican la realización de determinadas tareas y el grado de eficacia que se consigue en la agrupación de diferentes actividades de mantenimiento.

En algunos casos, será preciso elaborar nuevos procedimientos de trabajo y realizar adaptaciones de los procesos informáticos existentes que pudieran estar relacionados con el tema.

4.11 SEGUIMIENTO DE RESULTADOS

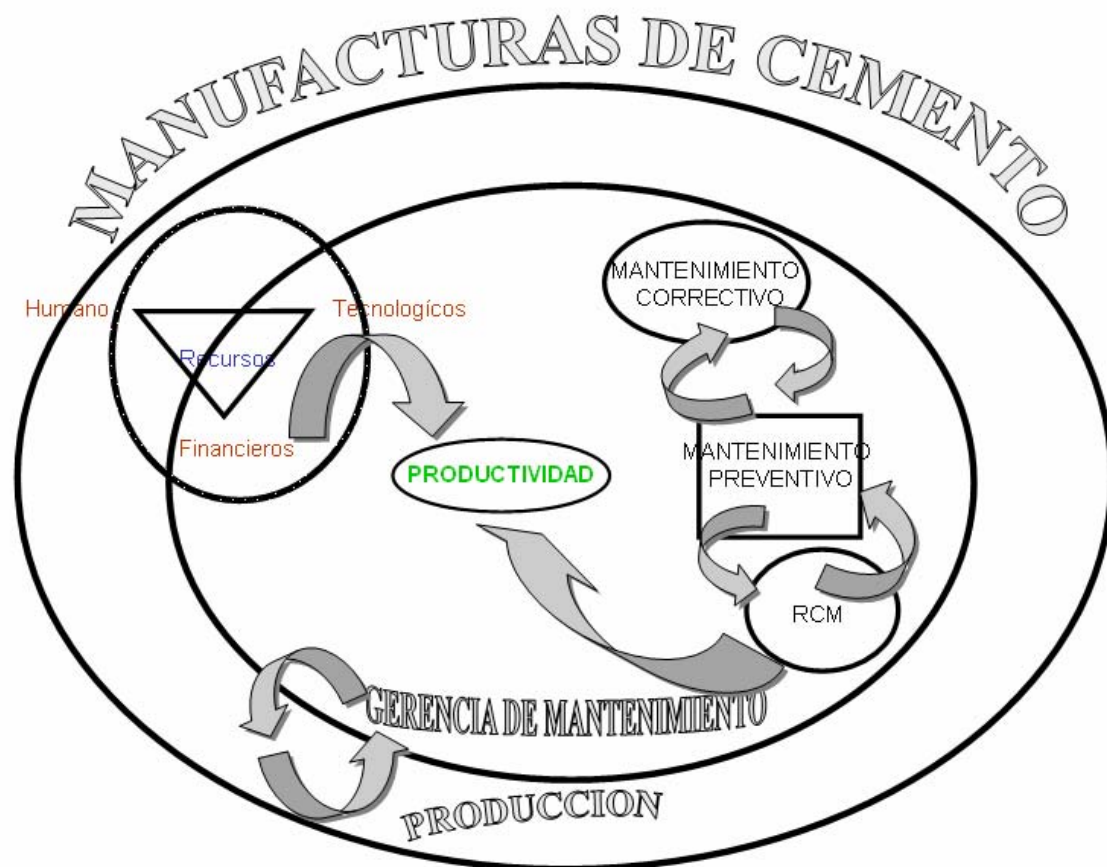
El seguimiento y el análisis de los resultados que se van obteniendo en la planta con la implantación del nuevo programa de mantenimiento son tareas que resultan de capital importancia para la evaluación de su eficacia. Este proceso requerirá por una parte, la definición de los parámetros e índices de seguimiento, la implantación de los pertinentes procesos de captación de la información básica necesaria, el establecimiento del adecuado procedimiento de actuación y la correspondiente asignación de recursos.

La necesidad de considerar nuevas técnicas de mantenimiento, añadir algún

posible modo de fallo o componente no analizado inicialmente o revisar las hipótesis de estudio, sus conclusiones entre otras, harán conveniente la actualización global de estudio del RCM, cada cierto tiempo con el fin de minimizar la obsolescencia de las recomendaciones aportadas con el paso del tiempo.

El modelo propuesto se plantea en la Figura 44, en donde se muestra la retroalimentación que debe existir entre las áreas de producción y mantenimiento buscando un fin común para la compañía que es la mayor productividad, en el cual la Gerencia de Mantenimiento explota al máximo los recursos comunes y sus herramientas de gestión. Nótese como el RCM permite al área de mantenimiento dar ese gran salto al logro de la meta propuesta.

Figura 44. Modelo propuesto



5. SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE

El propósito fundamental de este capítulo es tener en cuenta el avance y desarrollo significativo que ha tenido la compañía en estos dos temas tan importante hoy día. Desde luego no serán tratados con profundidad en esta monografía, ya que se trata de un tema muy extenso que daría para una nueva investigación.

5.1. PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL

Todo trabajo lleva implícitos unos riesgos que, si no se controlan, pueden producir enfermedades irreversibles, causar accidentes o incluso la muerte.

Por ello se hace necesario, antes de iniciar el desempeño del cargo, conocer el puesto de trabajo, el programa de Salud Ocupacional, los objetivos del mismo, el reglamento interno y el reglamento de medicina, higiene y seguridad industrial, para identificar cuáles riesgos debemos afrontar y, lo más importante, como aprender a controlarlos.

La protección de los trabajadores no puede dirigirse exclusivamente a una determinada profesión u oficio. Sin embargo, el personal de Manufacturas de Cemento S.A. está expuesto a innumerables riesgos profesionales sobre los cuales deben darse orientaciones muy precisas que contribuyan a potenciar las acciones del gobierno en pro de la salud de la clase económicamente activa del país.

5.2 PANORAMA DE FACTORES DE RIESGO

Consideraciones generales. Con el panorama de factores de riesgo se obtiene un esquema general sobre las condiciones de trabajo que involucra los factores de riesgo presentes, su valoración, los trabajadores potencialmente expuestos y las medidas de control existentes, con el fin de priorizar las medidas de intervención. El modelo así desarrollado se constituye en el punto de partida para la ejecución del programa de salud ocupacional .

Definiciones básicas. Es preciso conocer los aspectos fundamentales del Programa de Salud ocupacional para determinar la responsabilidad que le compete al trabajador en su desarrollo y en el cuidado de la salud del mismo.

- **Programa de salud ocupacional:** Conjunto de actividades desarrolladas por el equipo interdisciplinario, que tiene como finalidad conservar la salud de los trabajadores, protegiéndolos de los riesgos profesionales.
- **Sistema de riesgos profesionales:** Es un conjunto de entidades públicas y privadas normas y procedimientos, destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrirles, con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan. Los riesgos profesionales, son los accidentes como consecuencia directa del trabajo o la labor desempeñada, y la enfermedad que haya sido catalogada como profesional por el gobierno.
- **Panorama de Factores de Riesgo:** Es una técnica para describir la información sobre condiciones de trabajo, factores de riesgo laboral, la intensidad de la exposición en que se encuentre un trabajador. Así como los controles existentes; éste puede desarrollarse en una sección o área determinada o en todos los puestos de trabajo de la empresa. Esta información implica una acción continua y sistemática de observación, valoración, análisis y priorización que permitan una adecuada orientación de las actividades preventivas
- **Accidente de trabajo:** Es todo suceso repentino que sobrevenga por causa u ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o la muerte. Accidente de trabajo es también “aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, aun fuera del lugar y las horas de trabajo”. Igualmente se considera accidente de trabajo “el que se produzca durante el traslado de los trabajadores desde su residencia a los lugares de trabajo o viceversa, cuando el transporte lo suministre el empleador. Se consideran accidentes de trabajo, Los ocurridos dentro de las instalaciones o vehículos e la empresa o en los contratados por ésta, y todo accidente por e cumplimiento de las funciones del cargo que desempeñe el trabajador, o en desarrollo de actividades culturales y deportivas programadas o autorizadas por la empresa.
- **Enfermedad profesional:** Todo estado patológico permanente o temporal que sobrevenga como consecuencia obligada o directa de la clase de trabajo que desempeña el trabajador, o del medio en que se ha visto obligado a trabajar, y que haya sido determinada como enfermedad profesional por el gobierno nacional
- **Condiciones de trabajo:** Conjunto de características de la tarea, del entorno y de la organización del trabajo, las cuales interactúan produciendo alternativas positivas o negativas sobre la salud de quien la ejerce. Es la

probabilidad de ocurrencia de un suceso que afecte de manera negativa la integridad física del trabajador así como a los materiales y equipos. Se entiende bajo esta denominación la existencia de una condición, fenómeno o evento del ambiente, de la organización o de la persona, que involucra la capacidad potencial de causar daño a la salud de los trabajadores y a los materiales y equipos.

5.3 ÁREAS DEL PROGRAMA DE SALUD OCUPACIONAL

El Programa Permanente de Salud Ocupacional comprende cuatro áreas o componentes, que buscan proteger a los trabajadores contra los riesgos del ambiente laboral.

Comité paritario

Es un organismo de promoción y vigilancia de las normas y reglamentos de salud ocupacional dentro de la empresa.

Subprograma de Medicina preventiva y del trabajo

Estudia las condiciones de salud de los trabajadores. Y su objetivo es: procurar conservar la salud del trabajador a través de:

- Exámenes médicos, clínicos y paraclínicos de ingreso, periódicos y de egreso
- Historia ocupacional
- Programas de vigilancia epidemiológica de enfermedades profesionales
- Actividades de prevención de enfermedades profesionales, accidentes de trabajo y educación en salud. y Primeros auxilios
- Asesoría en toxicología industrial, sobre agentes de riesgo
- asesoría en aspectos médicos; individuales y colectivos
- Determinar espacios para el descanso y la recreación

Subprograma Higiene y seguridad industrial

Estudia las características de la tarea, del entorno, y de la organización del trabajo, Su objetivo es mejorar el trabajo a través de:

- Estudios ambientales periódicos para hacer la identificación y la evaluación de los agentes de riesgo del trabajo que afecten o puedan afectar la salud del operario.

- La determinación y aplicación de medidas necesarias para el control de riesgos de accidentes y de las enfermedades relacionadas con el trabajo y verificar su eficiencia.
- La investigación de los accidentes de trabajo y de las enfermedades profesionales ocurridos, determinado sus causas y aplicando las medidas correctivas para evitar que vuelvan a presentarse.
- Elaboración y actualización de las estadísticas sobre accidentes, enfermedades profesionales, ausentismo y personal expuesto a los agentes de riesgos de trabajo.
- Dotación a los trabajadores de los elementos de protección personal, según el tipo de riesgo del puesto e trabajo.
- Elaborar y proponer las normas y reglamentos internos sobre salud ocupacional, conjuntamente con el Subprograma de Medicina del trabajo.

5.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL

En la inscripción, presentación y evaluación de todo proyecto de inversión en Manufacturas de Cemento, se debe siempre tener en cuenta y analizar las influencias que un Proyecto tenga o afecte sobre la Organización en sí y sobre el medio ambiente, muchas de las decisiones que se tomen dentro de la operatividad y desarrollo del proyecto; es decir si se va a definir la localización, los recursos humanos, los técnicos, los costos, tamaño, tecnología, etc., se deben tener en cuenta midiendo la estructura orgánica de la Empresa.

El estudio del impacto ambiental está relacionado con el estudio técnico del proyecto en lo referente a localización del mismo. Dependiendo de su situación geográfica, cada proyecto tendrá sus repercusiones en el medio ambiente.

Una vez definida la solución a la necesidad planteada, o aprovechando la oportunidad de negocio que se presenta, se debe estar consiente de los efectos externos que se pueden producir sobre el medio ambiente al igual que los impactos sobre la fauna, flora y organizaciones sociales.

El medio ambiente es el recipiente de donde se extraen los recursos utilizados en un proyecto (recursos de origen: mineral, vegetal, animal, humano tecnológico, administrativo, financieros, informático, institucional, energético, etc.;) y también es el recipiente donde se colocan los desechos (sólidos, químicos, radioactivos, etc.).

Cualquier evaluación encaminada a determinar la conveniencia de un proyecto de inversión, no debe descuidar los efectos que pueda tener dicho proyecto sobre las condiciones ambientales de su entorno.

Con la descripción detallada del Efecto Ambiental del Proyecto, se busca tener una apreciación subjetiva de los impactos que el proyecto puede producir sobre distintos elementos del medio ambiente. Se debe intentar resumir el efecto del proyecto, si existe, sobre el suelo, el aire, las aguas, la fauna, la flora y la cultura. De esta forma se determina cuales son las posibles fuentes de contaminación y los correctivos que se toman para atenuar los impactos negativos que se produzcan.

Una vez especificado estos pasos, se debe establecer el número de Resolución, acuerdo, Decreto o acto jurídico emanado del Ministerio del Medio Ambiente o autoridad competente, mediante la cual se autorice la ejecución de dicho proyecto, esto será ya cuando el proyecto este en proceso de ejecución.

CONCLUSIONES

- Se planteó un modelo de gerencia de mantenimiento para Manufacturas de cemento S.A. basado en R.C.M.
- Se diagnosticó la organización en cuanto a su organización, administración, proceso, equipos y tecnología.
- Se evaluó la criticidad de los equipos dentro del proceso productivo
- Se estudiaron las variables fundamentales del sistema de mantenimiento RCM y se le dio aplicación con los respectivos indicadores CMD.
- Se presentó un plan de mantenimiento complementado con las tareas o actividades generadas por la aplicación de RCM.
- El análisis de criticidad expuesto nos da una valoración del orden en que se debe prestar atención a los equipos para desarrollar el trabajo, se tendrá en cuenta este orden para garantizar el pleno funcionamiento de la planta.
- El método de cálculo de la confiabilidad usado es la distribución de Weibull con el fin de obtener un índice de confiabilidad dentro del plan de mantenimiento. Este método usa el historial de falla de los equipos para determinar el plan de mantenimiento óptimo y calcular su confiabilidad en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

BRALIA, J. "*Product Design for manufacturing*". New York. McGraw-Hill. 1986

CHILDS, Joseph A. "Facilities Failure Mode and Effects Analysis". Dallas, TX. 1997.

DOMÍNGUEZ, Carlos Mario. Guía para elaborar Modelos de Gestión de Mantenimiento Industrial Tamayo. Medellín: EAFIT, 1997. Tesis de maestría

DUFFUAA, S.O. and Daya, M. Ben. 'Improving Maintenance Quality' Quality maintenance Engineering, Vol 1. 1996.

FINELY, Howar. Principios operacionales del mantenimiento. Bogotá: Mc Graw Hill, 1998.

GONZÁLEZ, Carlos Ramón. Evaluación de Investigación. Bucaramanga: UIS, 1999.

GONZALEZ JAIMES Isnardo. Seminario La investigación científica. Bucaramanga: UIS 2000.

GONZALEZ JAIMES Isnardo. Seminario La Monografía de especialización. Bucaramanga: UIS, 2000.

GONZALEZ JAIMES Isnardo. Seminario Desarrollo de la Investigación. Bucaramanga: UIS, 2000.

HARRIS, M. J. y KELLY, A. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid: Fundación Repsol, 1998. 218 p.

<http://www.faces.ucv.ve/Cep/AGGestionMantenimiento.htm> , Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Centro de extensión Profesional, Programa de formación de alta gerencia en gestión de mantenimiento.

KECECIOGLU, D. Reliability engineering handbook. Vols. 1 y 2. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall. Ed. 1991.

LINDLEY R., Higgins. Maintenance engineering handbook. Fifth Edition. McGraw-Hill, 1995. ISBN 0-07-02811-9.

MILLSTONE Unit 1 Probabilistic Safety Study, North east Utilities Service Company, July 1985.

MINTON, L. A. and Johnson, R. W., "Fault Tree Faults," International Conference on Hazard Identification and Risk Analysis, Human Factors, and Human Reliability in Process Safety," January 1992.

MODARRES, Mohammad. "What every engineer should know about reliability and Risk Analysis". Marcel Dekker, Inc., New York, 1993.

MONCHY, Francoise. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial. Barcelona: Masson, S.A. 1990. P.231-233.

MOSLEH, A. "Procedures for treating common cause failures in safety reliability studies". U.S Nuclear Regulatory Commission and Electric Power Research Institute by Pickard, Lowe and Garrick, Inc. 1988.

NAVARRO, Luis; PASTOR, Ana y MUGABURU, Jaime. Gestión integral de mantenimiento. Barcelona: Marcombo, 1997. 112 p.

OMDAHL, T. P. Reliability availability and maintainability dictionary. Milwaukee: ASQC Quality Press. Ed. 1988.

PALMER DOC. Maintenance planning and scheduling handbook. Boston: McGraw -Hill, 1999. ISBN 0-07-048264-0

PARRA, Carlos. Optimización de la producción a partir de la implementación del MCC, Centro de educación continua, Eafit , Medellín, Colombia, 1999.

PÉREZ, Carlos Mario. Gerencia de Mantenimiento y sistemas de información. Medellín: Soporte y Cía. Ltda, 1992. 309 p.

PÉREZ, Carlos Mario. Organizaciones del Mantenimiento. Santa Fé de Bogotá: Universidad Industrial de Santander, 1999. 223 p.

REY, Francisco. Hacia la excelencia en Mantenimiento. Madrid: TGP-Hoshin, S.L., 1996. 411 p.

RIVERA A. Leonardo, VARGAS G. Mauricio. Diseño de un Sistema de Información para el Departamento de Mantenimiento en la Fundación Oftalmológica de Santander y Clínica Carlos Ardila Lulle (FOSCAL). Tesis UIS. Bucaramanga 2000. 82 p.

ROTHERY, Brian y ROBERTSON, Ian. Outsourcing la subcontratación. México: Limusa, 2000. ISBN 968-18-6057-8. 231 pp.


SOURIS, Jean-Paul. El mantenimiento, fuente de beneficios. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A. 1990. 183 p.

STAMATIS, D. H. Failure mode and effect analysis. ASQC Milwaukee, Wisconsin. Quality Press. Ed. 1995.

WEBSTER 'S New World Dictionary of the American Language, Warner Books, New York, NY, 1984.

ANEXOS

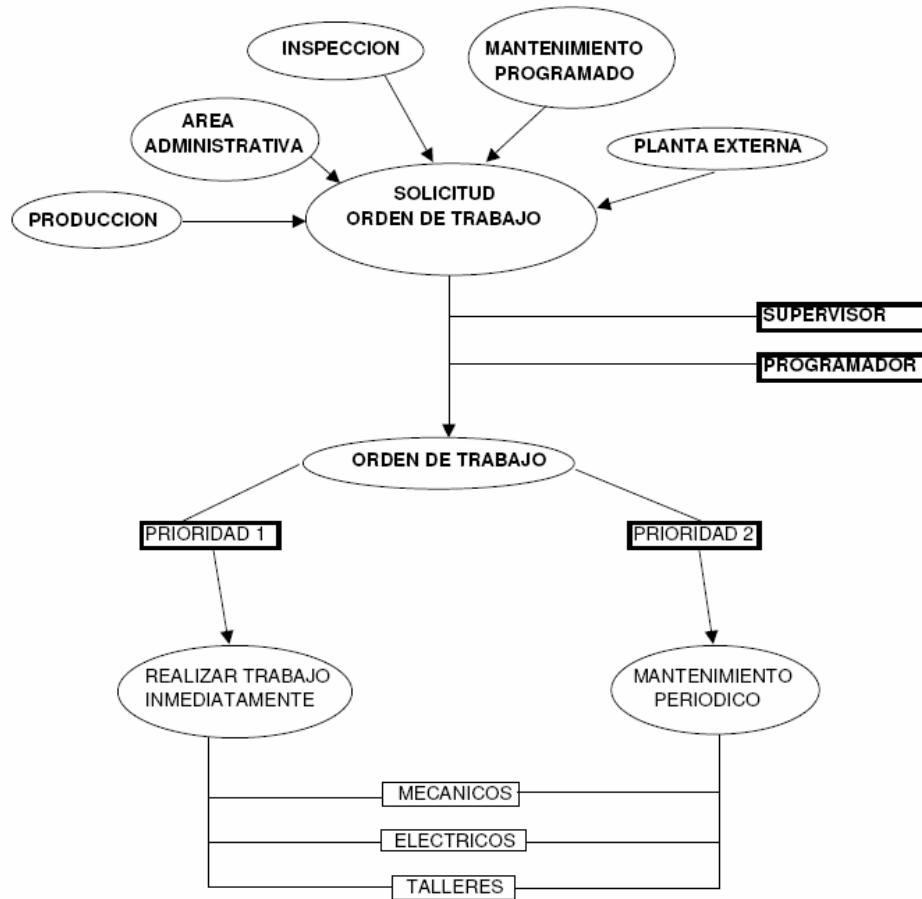
Anexo B. Formato de inspección

 TITAN MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A.		FORMATO DE INSPECCION															
MOLDE COD: _____			NUCLEO COD: _____			ANILLO DE PERFILAR											
FECHA: _____			REALIZADO POR : _____														
PARTE	DESGASTE	HENDIDURA	LABORES			ESTADO			ACTIVIDAD				ORDEN T.				
			SOLDADURA	ABOLL	AJUSTE	B	R	M	C	A	L	R	SI	NO	Nº		
MOLDE																	
PESTAÑA	X		X														
MOLDE	X		X	X													
ORIFICIOS DE RESPIRACION	X																
NUCLEO																	
NUCLEO	X	X															
ANILLO DE VIBRACION	X																
ANILLO DE PERFILAR																	
ANILLO	X																
TORNILLOS	X				X												
C: CAMBIO			A: AJUSTE			L: LIMPIEZA			R: REPARAR								
OBSERVACIONES : _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____																	
FIRMA : _____ SUP.MOLDES								REVISO : _____									

AT-FM-649
01/10/2025

Anexo C. Diagrama de flujo área de mantenimiento

DIAGRAMA DE FLUJO AREA DE MANTENIMIENTO



PRIORIDAD 1 A - PLANTA PARADA ---- SKIP
 ---- MEZCLADORA
 ---- CUBO MOVIL
 ---- BANDA PESAJE

B - MÁQUINA PARADA

C - ORDEN DE GERENCIA

D- ORDEN DE PRODUCCION

PRIORIDAD 2 A - MANTENIMIENTO PREVENTIVO

B - CALIDAD

C - REPARACION