



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
POSTGRADO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ESPECIALIZACIÓN**

**“ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD
DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO DE LA EMPRESA CEMEX
VENEZUELA PLANTA GUAYANA”**

**Trabajo Especial de Grado presentado ante la
Universidad de Oriente como requisito parcial
Para optar al título de Especialista en
Ingeniería de Mantenimiento**

Ing. RENÉ MAURICIO AGUILERA MEJÍAS

Barcelona, Mayo del 2009

**“ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD
DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO DE LA EMPRESA CEMEX
VENEZUELA PLANTA GUAYANA”**

Ing. RENÉ MAURICIO AGUILERA MEJÍAS

**Certifico que he leído ésta Tesis y la he encontrado aceptable en
cuanto a contenido, estructura y metodología de presentación.**

**Msc. Ing. Henry Espinoza
Tutor Académico**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
POSTGRADO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ESPECIALIZACIÓN**

**“ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD
DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO DE LA EMPRESA CEMEX
VENEZUELA PLANTA GUAYANA”**

**APROBADO EN NOMBRE DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE,
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI, POR EL JURADO CALIFICADOR**

**Msc. Ing. Henry Espinoza
Tutor Académico**

**Msc. Ing. Carmen Martínez
Jurado Principal**

**Msc. Ing. Pedro Díaz
Jurado Principal**

Barcelona, Mayo del 2009

DEDICATORIA

Dedicado especialmente a la memoria de mi Madre...quien con su esfuerzo, sacrificio y perseverancia logró moldear nuestro espíritu y mente en una fuerza creadora para alcanzar nuestras metas.

Gracias Madre por darme la vida y forjar nuestros destinos.

Siempre estarás en mis recuerdos y en mi vida.

Mis logros serán tus logros, mis triunfos serán tus triunfos..!!!

Te llevaré en mi corazón hasta la eternidad...porque eres la llama que le da calor a mi alma.

Gracias por siempre....!!!

Tu hijo René.....

AGRADECIMIENTO

A mi Dios Todopoderoso por no haberme abandonado en ningún momento de mi vida.

A mi esposa Francis por compartir conmigo todas las penas y alegrías que hemos tenido que afrontar en todo momento.

A mis hijos: Renee, Diego, Rodolfo Eduardo y Rodolfo Valentino a quienes le debemos brindar amor, salud, respeto, solidaridad, ternura, etc. y servir de ejemplo.

A mis hermanos: Manuel, Giovanni, Wilfredo, Sonny, Mirna, Aníbal, Nilda, Enrique y Jhonny; quienes confiaron en mí.

A CEMEX VENEZUELA por brindarme la oportunidad de realizar mis Tesis de Pre-grado y Post-grado en sus instalaciones. Es un orgullo y un honor compartir con mis compañeros de labores el siguiente proyecto.

A mis compañeros de cohorte que dieron su esfuerzo y sacrificio por alcanzar este título tan hermoso.

GRACIAS A TODOS.....



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
POSTGRADO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
ESPECIALIZACIÓN**

RESUMEN

Este estudio está enfocado a actualizar los Planes de Mantenimiento Preventivo de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana en función de la estimación de la Confiabilidad mediante métodos estadísticos. La metodología utilizada son modelos paramétricos, específicamente la Distribución de Weibull, que permite determinar la confiabilidad individual de los equipos y sistemas en estudio. Con los resultados obtenidos se puede diagnosticar el comportamiento de los equipos del sistema de molienda de cemento de Planta Guayana y de esta manera tomar las acciones que puedan brindar un mayor y mejor mantenimiento preventivo a través de las actualizaciones de los planes y programas de mantenimiento.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	vi
INDICE GENERAL	vii
LISTADO DE FIGURAS	ix
LISTADO DE TABLAS.....	xi
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1.- Generalidades de la Empresa.....	15
1.1.1.- Reseña histórica de la Empresa.....	15
1.2.- Planteamiento del Problema.....	16
1.3.- Antecedentes del Problema.....	17
1.4.- Justificación e Importancia del Proyecto.....	19
1.5.- Alcance del Proyecto.....	19
1.6.- Limitaciones del Proyecto:	20
1.7.- Objetivos de la Investigación.....	20
1.7.1.- Objetivo General.....	20
1.7.2.- Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO II.....	22
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	22
2.1.- Conceptos básicos.....	22
2.2.- Bases Teóricas.....	25
2.2.1.- Generalidades del Sistema de Molienda.....	25
2.2.2.- Fundamentos de los Modelos Paramétricos.....	29
2.2.3.- Modelos de Confiabilidad del Sistema.....	34
CAPÍTULO III.....	38
METODOLOGIA	38
3.1.- Tipo de Investigación.....	38
3.2.- Metodología de Estimación de la Confiabilidad.....	39
3.3.- Población.....	40
3.3.1.- Descripción Técnica de los equipos del Sistema de Molienda (Población).....	41

3.4.- Recolección de Datos.	52
3.4.1.- Datos de Fallas de los Equipos.	53
3.5.- Modelo a Aplicar.	64
CAPÍTULO IV	66
ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
4.1.- Estimación de la Confiabilidad de los Equipos.....	66
4.2.- Elaboración de los Esquemas de Confiabilidad del Sistema.	77
4.3.- Cálculo de Confiabilidad del Sistema.....	78
4.3.1.- Estimación de la Confiabilidad de Subsistemas en paralelos.78	
4.3.2 Representación de los Modelos equivalentes de Confiabilidad en Sistemas en series.....	80
4.3.3.- Estimación de la Confiabilidad para la representación equivalente en serie del Sistema de Molienda de Cemento.	80
4.4.- Cálculo del Tiempo “T” para alcanzar la Confiabilidad preestablecida por la Empresa.	82
4.5.- Análisis de los Resultados.	83
4.6.- Propuesta de Mejoras a los Planes de Mantenimiento de la Planta.	84
CAPÍTULO V	87
CONCLUSIONES	87
CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA.....	89
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	90

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1.1 - Vista de la entrada principal de Planta Guayana, Julio 2008....	17
Fig. 1.2 - Molino de bolas, equipo principal del sistema de molienda de cemento Planta Guayana, Julio 2008.	18
Grafica 2.1 – Papel de Weibull que permite encontrar los parámetros de forma β , escala η y posición γ	33
Fig. 2.3 - Diagrama de Bloques de un Sistema en Serie.	35
Fig. 2.4 - Diagrama de Bloques de un Sistema en Paralelo.	35
Fig. 2.5 - Diagrama de Bloques de un Sistema mixto (k de n).	36
Fig. 3.1 – Alimentadores de Clínker #1 y 2.	41
Fig. 3.2 – Banda larga de Clínker.	42
Fig. 3.3 – Elevador de Clínker.	43
Fig. 3.4 – Dosificadora de Yeso.	44
Fig. 3.5 – Banda alimentación del Molino.	45
Fig. 3.6 – Molino de bolas.	46
Fig. 3.7 – Motores y reductores principal y secundario del Separador. ...	47
Fig. 3.8 – Electrofiltro o Precipitador electrostático.	47
Fig. 3.9 – Elevador salida del Molino	48
Fig. 3.10 – Aerodeslizadores (sistema transporte neumático).	50
Fig. 3.11 – Bomba Fuller.	51
Fig. 3.12 – Elevador de Despacho.	52
Fig. 4.1- Diagrama de Bloques del Sistema de alimentación de clínker de Planta Guayana.	77
Fig. 4.2- Diagrama de Bloques del Sistema de Molienda de clínker de Planta Guayana.	77
Fig. 4.3- Esquema de Confiabilidad del Sistema de alimentación de clínker de Planta Guayana.	77
Fig. 4.4- Esquema de Confiabilidad del Sistema de Molienda de clínker de Planta Guayana.	78
Fig. 4.6- Esquema de Confiabilidad de los sub-sistemas en paralelo del Sistema de Molienda de clínker Planta Guayana.	79

Fig. 4.7- Esquema nuevo de Confiabilidad del Sistema de alimentación de clínker de Planta Guayana.....	80
Fig. 4.8- Esquema nuevo de Confiabilidad del Sistema de Molienda de clínker Planta Guayana.....	80

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3.1. Fallas ocurridas en el Alimentador #1.....	53
Tabla 3.2. Fallas ocurridas en el Alimentador #2.....	53
Tabla 3.3. Fallas ocurridas en la Banda alimentación de clínker.....	54
Tabla 3.4. Fallas ocurridas en el Elevador de clínker.....	54
Tabla 3.5. Fallas ocurridas en la Dosificadora de clínker #1.....	54
Tabla 3.6. Fallas ocurridas en la Dosificadora de clínker #2.....	54
Tabla 3.7. Fallas ocurridas en la Dosificadora de yeso.....	55
Tabla 3.8. Fallas ocurridas en la Banda alimentación del Molino.....	55
Tabla 3.9. Fallas ocurridas en el Molino.....	56
Tabla 3.10. Fallas ocurridas en el Separador Dinámico.....	58
Tabla 3.11. Fallas ocurridas en el Electrofiltro.....	60
Tabla 3.12. Fallas ocurridas en el Elevador salida del Molino.....	61
Tabla 3.13. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #1 salida Molino.....	62
Tabla 3.14. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #2 salida Molino.....	62
Tabla 3.15. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #1 entrada Separador.	62
Tabla 3.16. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #2 entrada Separador.	62
Tabla 3.17. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #1 Despacho.....	62
Tabla 3.18. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #3 Despacho.....	63
Tabla 3.19. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #4 Despacho.....	63
Tabla 3.20. Fallas ocurridas en la Bomba Fuller.....	63
Tabla 3.21. Fallas ocurridas en el Elevador de Despacho.....	64
Tabla 4.1. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Alimentador #1.....	67
Tabla 4.2. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Alimentador #2.....	67
Tabla 4.3. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad de la Banda larga Clínker.....	67
Tabla 4.4. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Elevador de Clínker.....	68

Tabla 4.5. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Dosificador #1 de Clíinker.....	68
Tabla 4.6. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Dosificador #2 de Clíinker.....	68
Tabla 4.7. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Dosificador de Yeso.....	69
Tabla 4.8. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad de la Banda alimentación.....	69
Tabla 4.9. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Molino. ...	69
Tabla 4.10. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Separador Dinámico.....	71
Tabla 4.11. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Electrofiltro.....	72
Tabla 4.12. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Elevador salida Molino.....	73
Tabla 4.13. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #1 salida Molino.....	73
Tabla 4.14. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #2 salida Molino.....	73
Tabla 4.15. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #1 entrada Separador.....	73
Tabla 4.16. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #2 entrada Separador.....	74
Tabla 4.17. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #1 Despacho.....	74
Tabla 4.18. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #3 Despacho.....	74
Tabla 4.19. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #4 Despacho.....	74
Tabla 4.20. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad de la Bomba Fuller.....	74
Tabla 4.21. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Elevador de Despacho.....	75

Tabla 4.22. Valores de los parámetros de posición, forma, escala y la Confiabilidad de los equipos del Sistema de molienda de Planta Guayana..... 76

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La empresa CEMEX VENEZUELA posee 03 plantas cementeras en Venezuela, ubicadas en los estados Anzoátegui (Planta Pertigalete), Zulia (Planta Mara), Lara (Planta Lara). Adicionalmente opera una molienda de cemento en la región de Guayana (Planta Guayana), 01 Terminal cementero en Catia La Mar y 04 puertos ubicados en Pertigalete, Maracaibo, Guayana y Catia La Mar.

La capacidad instalada de estas plantas cementeras en Venezuela es de 4,3 millones de toneladas métricas de clínker al año, aproximadamente la mitad de la capacidad total de la industria cementera en Venezuela. Planta Guayana está ubicada en la región Sur de Venezuela, en la zona Industrial de Matanzas a orillas del Río Orinoco en Puerto Ordaz, Estado Bolívar.

Por su ubicación a en el Sur del País, permite colocar el producto con fletes bajos y a menor costo, siendo una planta de molienda de cemento para la construcción Tipo I, II, III y cementos petroleros o especiales Clase B, G y H.

Planta Guayana comenzó sus operaciones en 1967 y actualmente posee una capacidad instalada de producción de 360.000 toneladas métricas de cemento anuales, contando con un (01) Molino de bolas para la molienda de cemento y adicionalmente un conjunto de equipos auxiliares.

Actualmente la Planta tiene mayor exigencia de producción y está confrontando deficiencia en los Planes del Mantenimiento Preventivo, tanto de actualización como de implementación, lo que conlleva a una disminución en la calidad de la ejecución del mantenimiento preventivo.

A través de éste estudio se plantea la búsqueda de alternativas para adoptar estrategias que ayuden a mejorar los Planes de Mantenimiento Preventivo, mediante la aplicación de métodos estadísticos (probabilísticos)

que puedan predecir la frecuencia y/o el tiempo para la realización de los mantenimientos preventivos de los equipos o sistema.

Se realizó una evaluación exhaustiva de todos los equipos que conforman el sistema de molienda de cemento, a través de modelos estadísticos (paramétricos y/o no-paramétricos) para estimar la Confiabilidad; con la finalidad de establecer los elementos de juicios necesarios para la toma de decisiones en la prevención y corrección de fallas que estén afectando la gestión de mantenimiento.

1.1.- Generalidades de la Empresa.

1.1.1.- Reseña histórica de la Empresa.

Planta Guayana inició sus operaciones a partir del 12 de Mayo de 1.967 con la denominación de Cementos Guayana, S.A., conformada por la Corporación Venezolana de Guayana, C.A. Venezolana de Cementos, C.A. Fabrica Nacional de Cementos y Consolidada de Cementos C.A., con la finalidad de fabricar cemento Pórtland-Escoria.

En 1994 Cementos Mexicanos (CEMEX), la tercera cementera más grande del mundo, adquiere la Corporación Vencemos que comprende las siguientes Plantas: Planta Pertigalete I y II en Anzoátegui, Planta Mara en el Zulia, Planta Lara en Lara, Planta Guayana en Bolívar y varios terminales de ensacado y centros de distribución diseminados en todo el territorio nacional.

Cemex Venezuela Planta Guayana produce una variedad de cementos para el consumidor, entre ellos: Cemento Pórtland gris Tipo I, Tipo II y Tipo III, y Cementos Petroleros Clase B, Clase G y Clase H. Los cementos Tipo I y III se despacha a granel y en sacos; los Cementos Tipo II y Clase B, G y H se despacha a granel.

1.2.- Planteamiento del Problema.

El Sistema de Molienda de Cemento de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana (figura 1.1), conformado por un Molino de bolas (figura 1.2) y un conjunto de equipos auxiliares que se mencionan a continuación: Separador por aire, electrofiltro de despolvamiento, elevadores de cangilones, aerodeslizadores, alimentadores, dosificadoras, bandas transportadoras, compresores de aire, bombas neumáticas, etc. (Ver anexo: Proceso de Molienda).

Actualmente los Planes de Mantenimientos Preventivos están presentando deficiencias y desactualización; esto se debe en parte, a que éstos se implementaron sin contar con un estudio previo de la situación funcional y operativa de los equipos del sistema de molienda de cemento de esta Planta. Las frecuencias de inspección y ejecución de los Planes del mantenimiento se establecieron bajo la filosofía de la experiencia y el análisis de fallas; sin ningún criterio de evaluación estadístico que permitiera predecir la frecuencia en la realización de las actividades de mantenimiento y así poder estimar el tiempo de ejecución de las mismas. Adicionalmente, no se cuenta con un procedimiento estadístico que permita estimar el índice de Confiabilidad del sistema de molienda, el cual es un parámetro exigido en el Sistema de Administración del Mantenimiento de CEMEX a nivel mundial, y que se encuentra preestablecido por la empresa en un 75% de Confiabilidad para los molinos de Crudo y Cemento.

De las acciones principales en este proyecto de investigación se procederá a la actualización de los Planes de Mantenimiento Preventivo del sistema de molienda de Planta Guayana a corto, mediano y largo plazo.

1.3.- Antecedentes del Problema.

Planta Guayana (figura 1.1) inicia sus operaciones en el año 1967 bajo la denominación Cementos Guayana, S.A. fabricando cemento Pórtland-Escoria.



Fig. 1.1 - Vista de la entrada principal de Planta Guayana, Julio 2008.

A principios de 1994, la Corporación Vencemos es adquirida por Cementos Mexicanos (CEMEX). Desde entonces se dan las bases para implementar el Sistema de Administración de Mantenimiento que contiene la codificación de los equipos de Planta, la orden de trabajo, los diagramas de flujo en la planeación y programación de las órdenes de trabajo, el diseño de las actividades de mantenimiento predictivo, el control de la herramienta, la historia de equipos, los sistemas informativos y de control, etc. Todo esto con la ayuda del Manual de Mantenimiento de Clase Mundial y la puesta en práctica de las técnicas y métodos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC). Sin embargo, los planes de mantenimiento preventivo implementados

en esta planta, se establecieron siguiendo los patrones de operación y mantenimiento de otras plantas; sin contar con un estudio técnico previo de los equipos y sus componentes, que permitiera evaluar las condiciones funcionales y operacionales de dicho sistema de molienda de cemento.

Con el transcurrir del tiempo estos planes de mantenimiento se desactualizaron, debido a las exigencias en la producción y en la ejecución de las frecuencias del mantenimiento preventivo.

Lo antes expuesto, ha generado una serie de fallas en el tiempo, lo cual ha incidido en paros recurrentes, baja producción, alto costos de mantenimiento, disminución en disponibilidad y confiabilidad del sistema de molienda y sus equipos auxiliares.



**Fig. 1.2 - Molino de bolas, equipo principal del sistema de molienda de cemento
Planta Guayana, Julio 2008.**

1.4.- Justificación e Importancia del Proyecto.

La realización de este proyecto de investigación responde a la necesidad de identificar aquellas variables que permitan actualizar y mejorar los Planes de Mantenimiento Preventivos.

Las continuas fallas y paros recurrentes ocasionados por la deficiencia de un plan de mantenimiento preventivo han motivado establecer un estudio de investigación que permita actualizar dichos planes en función de la estimación de la Confiabilidad del sistema, utilizando métodos estadísticos.

Los resultados de la aplicación de los métodos estadísticos de los modelos paramétricos: Distribución Exponencial, Distribución de Weibull y distribución de Carga-Resistencia, etc., permitirá establecer los Planes de Inspección y Ejecución acorde con los requerimientos exigidos por la política de la empresa para la seguridad integral de sus activos, personal y ambiente.

Por último, se considera que la ejecución de este proyecto es totalmente factible ya que se cuenta con la disposición de información y datos históricos que permitan alcanzar los objetivos específicos y general.

1.5.- Alcance del Proyecto.

El proyecto de investigación se realizó en la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana, específicamente en el Sistema de molienda de cemento, el cual comprende un conjunto de equipos, como lo son: un (01) Molino de bolas, un (01) Separador dinámico, un (01) Electrofiltro, tres (03) Elevadores de cangilones, un (01) sistema de transporte neumático (Bombas Fuller), siete (07) Aerodeslizadores, tres (03) Dosificadoras, dos (02) Alimentadores, un (01) sistema de banda transportadoras, cuatro (04) compresores, etc. De todos estos equipos, el Molino de bolas es el equipo principal y los otros son equipos auxiliares que conforman el sistema de molienda de cemento de Planta Guayana.

Los datos históricos que fueron evaluados estuvo comprendido desde Enero del año 2006 hasta Diciembre del 2007, período en el cual se cuenta con la información necesaria para poder establecer los parámetros requerido para las actualizaciones de los Planes de Mantenimiento Preventivo en función de las estimaciones de la Confiabilidad de los equipos y sistema de CEMEX VENEZUELA Planta Guayana.

1.6.- Limitaciones del Proyecto:

Entre las limitaciones que afectaron las actividades previstas en el proyecto, se encuentran:

- No se disponía de información confiable en la elaboración de los planes y programas de mantenimiento preventivo, ya que los implementados anteriormente surgieron de la experiencia y datos de otras Plantas.

1.7.- Objetivos de la Investigación.

1.7.1.- Objetivo General.

Actualizar los Planes de Mantenimiento Preventivo en función de la estimación de la Confiabilidad de los equipos del Sistema de Molienda de Cemento de la Empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana.

1.7.2.- Objetivos Específicos.

- Recopilar información técnica de los equipos que conforman el sistema de molienda de cemento de CEMEX VENEZUELA Planta Guayana.
- Describir las condiciones operacionales del sistema de molienda de cemento.
- Diagnosticar las condiciones funcionales de los equipos.

- Establecer los criterios para evaluar la Confiabilidad del sistema.
- Estimar la Confiabilidad de los equipos y del sistema de molienda de cemento.
- Determinar el tiempo “t” para alcanzar la Confiabilidad preestablecida por la empresa.
- Proponer mejoras en los Planes de Mantenimiento Preventivo basado en la estimación de la Confiabilidad.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.- Conceptos básicos.

Clínker: Es la materia prima para fabricar el cemento. Este clínker se obtiene a partir de minerales naturales o productos industriales que contengan óxido de calcio, óxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro, y mediante un proceso de cocción a altas temperaturas (1.400°C) se produce una transformación físico-químico para la obtención de clínker.

Cemento: Se define el cemento como conglomerante hidráulico, esto es, como material inorgánico finamente dividido que mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece en virtud de reacciones de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su estabilidad y resistencia, incluso bajo el agua. El cemento se produce a partir de clínker.

Molienda: Se entiende por molienda la reducción de los materiales a polvo, en este caso la reducción de clínker a cemento.

Particularmente, el objetivo de la molienda es el aumento de la superficie específica de dichos materiales, siempre de acuerdo con una distribución granulométrica establecida; concepto que se extiende al de la obtención de una adecuada reactividad para la próxima etapa del proceso de fabricación del cemento, o de una reactividad apropiada en el producto acabado (cemento) propiamente dicho.

Mantenimiento: “Es el conjunto de acciones orientadas a conservar o reestablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación, para

cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorable y de acuerdo a las normas de protección integral.” (Monografía.com).

El proceso de mantenimiento puede considerarse como un proceso estocástico.

Mantenimiento Preventivo: También denominado Mantenimiento Planificado, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas. Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.

Mantenimiento Correctivo: Tiene lugar luego que ocurre una falla o avería. El mantenimiento de este tipo es impredecible y acarrea paradas imprevistas, afecta la cadena productiva, al costo de mantenimiento, disminución de horas operativas, etc.

Proceso Estocástico: “Se reconoce un proceso de esta naturaleza cuando una o diferentes magnitudes, que identifican un sistema, pueden variar de manera aleatoria en función del tiempo; esto produce un cambio de estado en el sistema. Para “medir” los posibles cambios de estado se requiere considerar una medida de probabilidad”. (Borean, 2000, p. 8)

Equipo: Es un conjunto de componentes interrelacionado entre sí y que representa un bien económico, técnico y sujeto a mantenimiento.

Sistema: Conjunto de equipos o elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso, que tienen una función específica.

Probabilidad: Indica la posibilidad de ocurrencia de un suceso, el cual tiene un valor comprendido entre cero (0) y uno (1). La probabilidad de un suceso es seguro que ocurra es uno (1), mientras que la probabilidad de un suceso que no es posible que ocurra es cero (0). La probabilidad se mide mediante la siguiente relación:

Número de casos favorables / Número de casos posibles ≤ 1

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado periodo de tiempo $[0,t]$, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

$$R_{(t)} = P(T > t) \quad (\text{Confiabilidad})$$

Inconfiabilidad: Es la probabilidad que ocurra un fallo antes de un instante determinado, se estima mediante la siguiente expresión:

$$F_{(t)} = \int_0^t f_{(t)} dt \quad t \geq 0 \quad (\text{Inconfiabilidad o Infiabilidad})$$

Densidad de probabilidad de falla ($f_{(t)}$): Es la función de densidad de probabilidad de falla. Es cómo se distribuye la ocurrencia de falla.

Probabilidades complementarias: En vista que $R_{(t)}$ y $F_{(t)}$ son complementarios y además son probabilidades, se debe cumplir:

$$R_{(t)} + F_{(t)} = 1$$

Falla: Es aquella que origina desviaciones o pérdidas de las características de funcionamiento de un equipo, tal que produce incapacidad parcial o total para cumplir su función.

Tiempo entre fallas (TEF): Se refiere al tiempo que es capaz de operar un equipo sin interrupciones dentro del período de estudio. Iniciando el periodo desde la puesta en servicio del equipo hasta la aparición de una falla.

Tiempo medio entre fallas (MTEF): Es el tiempo promedio entre fallas.

$$MTEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n} = \text{Horas operadas} / \text{Número de fallas}$$

Tasa de falla $\lambda(t)$: Es un estimador de la confiabilidad y representa la proporción de fallas por unidad de tiempo.

2.2.- Bases Teóricas.

2.2.1.- Generalidades del Sistema de Molienda.

El Proceso de Molienda de Cemento de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana está conformado por dos (02) sistemas: un (01) sistema de alimentación de clínker y un (01) sistema de molienda de clínker; a ambos sistemas lo interconecta un Silo de almacenamiento y/o alimentación (Silo #10). Estos sistemas comprenden un conjunto de equipos y/o subsistemas dispuestos en series y en paralelos para cumplir y garantizar las operaciones de producción de la Planta. Estos equipos los detallamos a continuación:

Alimentadores: Estos alimentadores, Alimentador #1 y Alimentador #2, que consisten de una banda transportadora (correa sinfín). Están diseñados para manejar materiales granulares, como: Clínker, caliza, escoria, yeso, etc.. La tarea de estos equipos es suministrar flujo constante de material por unidad de tiempo desde la tolva de alimentación hasta una banda transportadora (Banda larga de clínker) que transporta el clínker hacia el Silo de almacenamiento (Silo #10) para la alimentación del Molino de cemento.

Banda larga de clínker: Ésta banda transportadora se utiliza para el transporte de materiales a granel o en unidades separadas. Esta banda transporta clínker desde los Alimentadores, específicamente desde los Patios de materia prima, hacia el Elevador de Clínker y de éste hasta el Silo #10.

Elevador de Cangilones (Elevador de clínker): El Elevador de cangilones es un transportador de materiales, en este caso clínker, de manera vertical. Este elevador constan de una serie de cangilones montados en dos

cadenas paralelas; este conjunto es accionado en la parte superior a través de una polea motriz y en la parte inferior es dirigido por otra polea. El Elevador tiene cubierta de láminas de acero, llamado carcasa o “cuerpo del Elevador”. Se utiliza para transportar por elevación el clínker hacia el Silo de almacenamiento o Silo #10.

Silo de almacenamiento y/o alimentación: Este Silo está ubicado en medio de los dos (02) sistemas, sirve como conexión, y tiene una capacidad de 3.000 toneladas métricas de clínker lo que garantiza una autonomía de dos días y medio (2,5 días) a ambos sistema del proceso de molienda de cemento.

Dosificadoras de clínker: Estas dosificadoras, Dosificadora #1 y Dosificadora #2, consisten esencialmente de una banda transportadora de 1,2 metros de ancho x 2,5 metros de largo, un sistema de pesaje y un sistema de control; esto con la finalidad de conseguir un flujo constante de material en la descarga y garantizar la calidad del producto. La dosificación se produce con el clínker almacenado en el Silo #10.

Dosificadora de yeso: Esta dosificadora, consiste de una banda transportadora de 1,2 metros de ancho x 3,0 metros de largo, un sistema de pesaje y un sistema de control; esto con la finalidad de conseguir un flujo constante de material en la dosificación y garantizar la calidad del producto. Esta dosificadora es idéntica a la dosificadora de clínker. La dosificación del yeso crudo proviene de una tolva de recepción, la cual es alimentada mediante una grúa de pórtico de 06 toneladas de capacidad.

Banda alimentación del Molino: Esta banda transporta clínker desde las Dosificadoras de clínker, con un mínimo porcentaje de yeso crudo (2–5 %) dosificado, hasta la entrada del Molino para su posterior molienda y refinación. Consiste de una banda transportadora de 0,6 metros (24 pulgadas) de ancho x 107,0 metros de longitud con un sistema motriz con una rata de alimentación de 30 a 80 toneladas por hora, dependiendo del tipo de cemento especificado.

Molino: El molino es un cilindro de acero de 3,40 metros de diámetro x 13,75 metros de longitud con una transmisión de potencia de doble accionamiento (02 motores sincronizados) con movimientos rotatorios. Posee 02 cámaras o compartimiento donde se encuentran los cuerpos moledores (bolas de acero) en una proporción de de llenado entre 28% a 33% como carga óptima. La cámara 1 posee bolas de acero de 90 milímetros a 50 milímetros de diámetro y la cámara 2 posee bolas de acero de 40 milímetros a 25 milímetros de diámetros; donde el desmenuzamiento del material se realiza debido al movimiento e impacto de los cuerpos moledores. A causa del giro del cilindro, el montón formado por los elementos moledores y el material (clínker) se eleva hasta un valor óptimo para su acción molturadora. La molienda se realiza por choque y rozamiento entre los cuerpos moledores, la materia prima y las paredes blindadas del molino.

Separador dinámico: El propósito de un Separador dinámico es dividir el material a granel (Clínker, escoria, caliza, etc.,) que proviene del Molino, en este caso, y que consiste en una mezcla de partículas de clínker de diversos tamaños en dos o más fracciones de un determinado rango de dimensiones para obtener un producto definido y bajo especificaciones determinados.

En los sistemas de molienda, a medida que se obtiene una mejor separación, la ayuda del Separador al Molino es benéfica para evitar una sobremolienda, mejor calidad del producto y optimizar el proceso mismo.

Electrofiltro o Precipitador Electrostático: El Electrofiltro es un sistema colector de partículas sólidas de una corriente de aire proveniente del Molino para su despresurización, desempolvamiento, enfriamiento y transporte de partículas finas. La precipitación electrostática implica la separación de partículas de una corriente de gas, mediante la fuerza resultante de una carga eléctrica en presencia de un campo eléctrico. Los gases portadores de partículas se hacen circular a baja velocidad (aproximadamente a 01 m./seg.) entre placas verticales dispuestas a una distancia de 200 milímetros a 500 milímetros. Las partículas se cargan eléctricamente y se depositan sobre las paredes, las cuales se pueden limpiar mediante un sistema de golpes que las

hacen caer en una zona de evacuación o descarga; éste material se considera como producto terminado debido a su gran fineza. Los electrofiltros permiten captar las partículas de manera selectiva mediante el ajuste de ciertos parámetros: temperatura, humedad, velocidad y diferencia de potencial de los electrodos del precipitador.

Elevador de cangilones (Elevador salida del Molino): El Elevador de cangilones es un transportador de materiales, en este caso cemento con fracciones de fino y grueso, de manera vertical. Este elevador se encuentra ubicado en la descarga del Molino conectados por un aerodeslizador como sistema de transporte. El Elevador consta de una serie de cangilones montados en dos cadenas paralelas; este conjunto es accionado en la parte superior a través de una polea motriz y en la parte inferior es dirigido por otra polea. El Elevador tiene cubierta de láminas de acero, llamado carcaza o “cuerpo del Elevador”. A la salida de éste se encuentra otro aerodeslizador que comunica con el Separador dinámico para continuar con el proceso de refinación. Se utiliza para transportar clínker molido y refinado hacia el Separador dinámico.

Aerodeslizadores: Los aerodeslizadores consisten básicamente en una canaleta inclinada, que se divide en dos compartimientos, por medio de una tela o lona de nylon transversal permeable al aire. El aire comprimido a baja presión entra por el compartimiento inferior, el cual ocupa un tercio de la sección transversal de la canaleta y pasa a través de la sección permeable al compartimiento superior, donde se fluidiza el material fino y seco, el cual es transportado hacia su destino. En el sistema de molienda de cemento es utilizado en la descarga del Molino hacia el Elevador de salida del molino, en la descarga de éste hacia el Separador, en la descarga del Separador hacia el Elevador de Despacho y/o hacia el sistema neumático de transporte de cemento (Bombas Fuller) y en la descarga del Elevador de Despacho hacia los topos de los Silos 1,2,3 y 8.

Sistema Neumático de transporte (Bombas Fuller): Las bombas Fuller 1 y 2 son dispositivos de transporte neumático para el transporte de

material pulverulento seco que trabaja a presiones moderadas (15 psi a 45 psi) y con velocidades de transporte bajas. El material a transportar es dosificado en la corriente de aire mediante un transportador helicoidal, éste gira a gran velocidad (750 rpm a 1500 rpm.) y el cierre o hermetización se consigue por la rosca y el material en si mismo. La válvula de no retorno, localizada en el área de descarga de la bomba, es un sello mecánico la cual ayuda para prevenir el flujo reverso de aire de la cámara de mezcla a través del barril de la bomba. La bomba fuller alcanza capacidades de unos 100 m³/h y es utilizado como sistema de transporte de cemento en paralelo con el Elevador de Despacho. Es el único medio para transportar cemento hacia los Silos 4,5y 6 (despacho a granel).

Elevador de cangilones (Elevador de Despacho): El Elevador de cangilones es un transportador de materiales, en este caso cemento terminado, de manera vertical. Este elevador constan de una serie de cangilones montados en dos cadenas paralelas; este conjunto es accionado en la parte superior a través de una polea motriz y en la parte inferior es dirigido por otra polea. El Elevador tiene cubierta de láminas de acero, llamado carcasa o “cuerpo del Elevador”. Se utiliza para transportar producto terminado (cemento) hacia los Silos 1,2,3 y 8.

2.2.2.- Fundamentos de los Modelos Paramétricos.

Los Modelos Paramétricos son métodos estadísticos para estimar la confiabilidad, analizan tiempo entre fallas. Entre los modelos paramétricos tenemos: Distribución Exponencial, Distribución de Weibull y Distribución de Carga – Resistencia.

Distribución Exponencial: Es una distribución estadística aplicable al estudio de la confiabilidad de componentes o dispositivos que en condiciones de montajes y uso adecuado se encuentran en funcionamiento, y no están afectados todavía por problema de vejez o desgaste. Corresponde a una tasa

de falla constante, ocurre en la segunda fase de la vida de numerosos componentes. Las fallas aparecen con causas independientes entre ellas e independientes del tiempo.

A continuación las expresiones matemáticas:

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$R_{(t)}$: Probabilidad de sobrevivencia entre 0 y t.

$$F_{(t)} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$F_{(t)}$: Probabilidad de falla.

$$f_{(t)} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$f_{(t)}$: Densidad de probabilidad de falla.

$$\lambda(t) = \frac{f_{(t)}}{R_{(t)}} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{constante} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

λ : Tasa de falla.

Distribución de Weibull: Es una distribución estadística aplicable al estudio de la confiabilidad en problemas relativos a la fatiga y vida de componentes y materiales. La Distribución de Weibull, que recibe su nombre del investigador sueco que la desarrolló, se caracteriza por considerar la tasa de falla variable, siendo utilizada por su gran flexibilidad al poder ajustarse a una gran variedad de funciones de confiabilidad de dispositivos o sistemas.

La Distribución de Weibull complementa a la Distribución Exponencial y a la Normal, que son casos particulares de aquella.

Aunque existen dos tipos de soluciones analíticas de la Distribución de Weibull (método de los momentos y método de máxima verosimilitud), ninguno

de los dos se suele aplicar por su complejidad. En su lugar se utiliza la resolución gráfica a base de determinar un parámetro de origen o posición (θ). Un papel especial para gráficos, llamado papel de Weibull, hace esto posible. El procedimiento gráfico, aunque existe varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo y requiere, a lo sumo, álgebra sencilla.

La Distribución de Weibull nos permite estudiar cuál es la distribución de fallas de un componente clave que pretendemos controlar y que a través de los registros de fallas se puedan observar que éstos varían a lo largo del tiempo y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso. El método no determina cuales son las variables que influyen en la tasa de fallas, tarea que quedará en manos de los analistas; pero al menos la Distribución de Weibull facilitará la identificación de las fallas y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos. Esta metodología es útil para aquellas empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones.

A continuación las expresiones matemáticas:

$$R_{(t)} = e^{-(t-\theta/\beta)} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$R_{(t)}$: Confiabilidad

β : Parámetro de forma

θ : Parámetro de escala

θ : Parámetro de origen o posición.

$$F_{(t)} = 1 - e^{-(t-\theta/\beta)} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$F_{(t)}$: Función de probabilidad de falla.

$$f_{(t)} = (\beta/\theta)(t-\theta/\beta)^{\beta-1} \cdot e^{-(t-\theta/\beta)} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$f_{(t)}$: Densidad de probabilidad de falla.

$$\lambda_{(t)} = (\beta/\alpha)(t - \alpha / \alpha)^{\beta-1} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$\lambda_{(t)}$: Tasa de falla.

Parámetro de forma (β): Define en qué fase de la vida se encuentra el componente o equipo (curva de la bañera o similar).

Casos:

$\beta < 1$: Mortalidad infantil o periodo de arranque.

$\beta = 1$: Operación normal.

$\beta > 1$: Envejecimiento o desgaste.

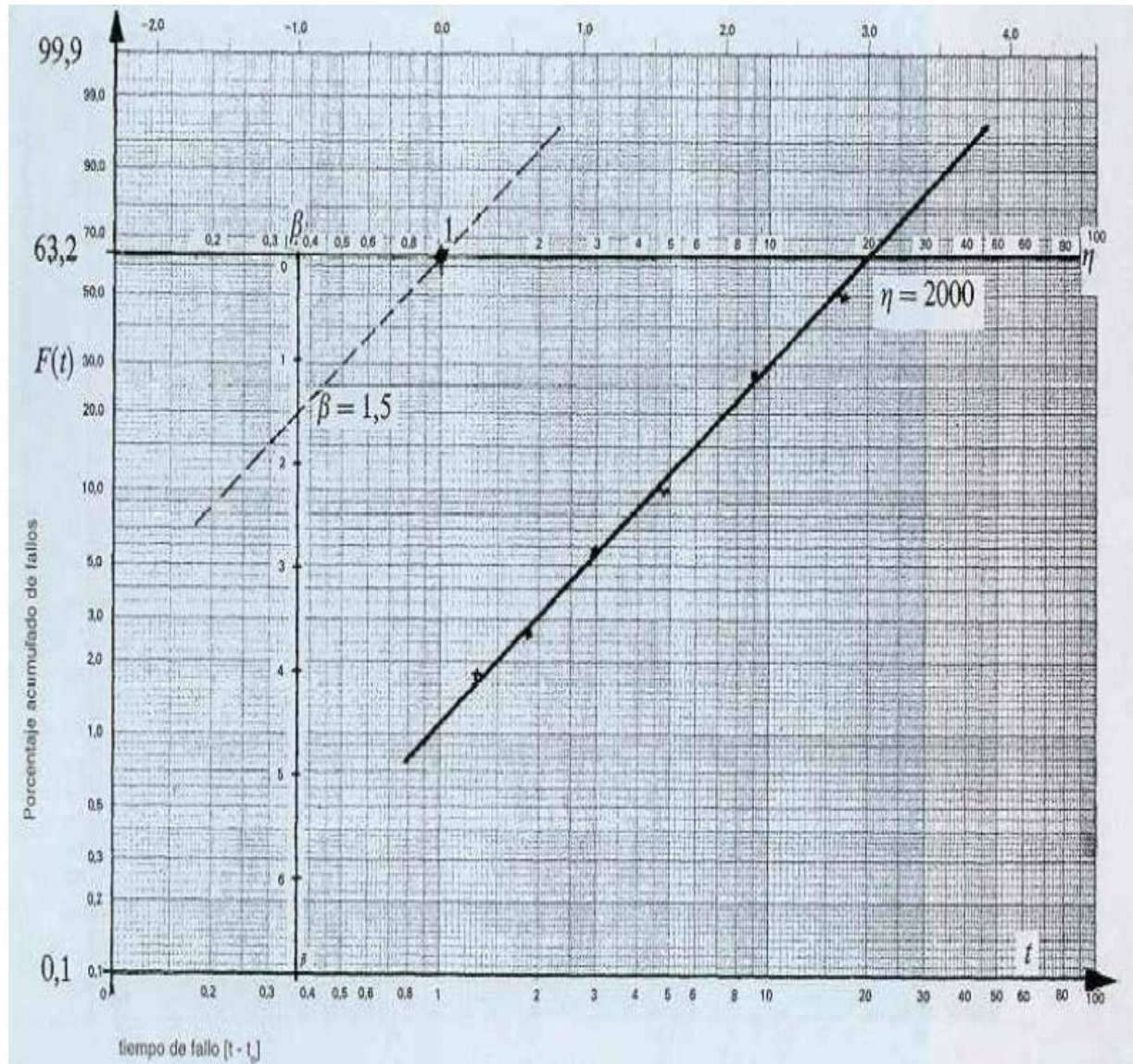
Parámetro de escala (α): Se utiliza para ayudar a definir la vida característica del equipo, la cual de acuerdo a la Distribución de Weibull, corresponde al tiempo para el cual los equipos tienen una probabilidad de fallar de **63,2%**.

Vida Característica = $\eta + \gamma$

Parámetro de origen o posición (γ): Define si la nube de puntos (**TEF, F_i**) en la gráfica de Weibull se ajusta a una recta. Donde **TEF**, es el Tiempo entre Fallas y **F_i** es la Frecuencia Acumulada de Fallas.

Casos:

Si es posible ajustar la nube de puntos a una recta, entonces (γ) = 0.



Gráfica 2.1 – Papel de Weibull que permite encontrar los parámetros de forma β , escala η y posición γ .

Si la nube de puntos, resulta una curva, el valor de (γ) es distinto de cero.

Función de acumulación de Fallas (F_i): Los datos para la estimación de la confiabilidad provienen de los históricos de fallas o de los resultados de ensayo. En todos los casos, se tabulan los TEF y se clasifican por orden

creciente (orden i atribuido a cada TEF). El número de observaciones realizadas es el tamaño de la muestra (n).

Casos:

$$\text{Para tamaño de muestra } n > 50 \quad F(i) = i / n \quad \text{(Ec. 2.9)}$$

$$\text{Para } 20 < n \leq 50 \quad F(i) = i / (n + 1) \quad \text{(Ec. 2.10)}$$

$$\text{Para } n \leq 20 \quad F(i) = (i - 0,3) / (n + 0,4) \quad \text{(Ec. 2.11)}$$

Distribución Carga-Resistencia: Se puede definir como la probabilidad de que un componente o equipo falle a una carga aplicada, dado que ha sobrepasado su resistencia. Se entiende por resistencia, la capacidad que tienen los componentes mecánicos para soportar la acción de cargas aplicadas durante su funcionamiento.

$$S(s) = P(c < r); \quad S(s): \text{Confiabilidad del equipo más débil.}$$

2.2.3.- Modelos de Confiabilidad del Sistema.

La Confiabilidad del sistema consiste en obtener expresiones y criterios que permitan estimar la probabilidad de que un sistema cumpla una función específica, bajo ciertas condiciones de uso, durante un periodo de tiempo.

Sistemas en serie: En esta configuración, la falla de un equipo ocasiona la falla del sistema. El funcionamiento será exitoso si y sólo si todos los equipos tienen un desempeño satisfactorio. El diagrama de bloques de un sistema en serie de “ n ” unidades, se muestra a continuación:



Fig. 2.3 - Diagrama de Bloques de un Sistema en Serie.

$$S_{(s)} = \prod_{i=1}^K S_{(i)} = S_A \times S_B \times \dots \times S_n \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Cuando los equipos están conectados en serie, la confiabilidad del sistema es menor que la sobrevivencia de cualquiera de sus partes, es decir, la confiabilidad del sistema es menor que la confiabilidad del equipo menos confiable.

En sistemas en serie la confiabilidad disminuye a medida que aumenta el número de equipos. Esta afirmación es válida mientras no se considere la influencia de la variación de la carga y de la resistencia de los componentes mecánicos.

Sistemas en paralelo: Se define como aquella en la cual el sistema es exitoso si cualquiera de sus equipos es exitoso. Un sistema en paralelo falla si todos sus equipos fallan. Estos sistemas presentan tolerancia a fallas acompañadas de redundancia, la cual ocurre cuando existen equipos alternativos para ayudar a que opere con éxito el sistema en caso de que uno más equipos fallen, dependiendo del orden de redundancia. El diagrama de bloques de un sistema en paralelo de "n" unidades, se muestra a continuación:

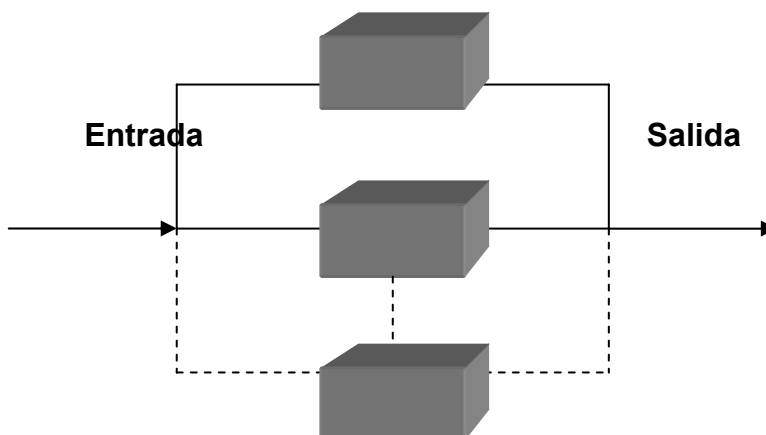


Fig. 2.4 - Diagrama de Bloques de un Sistema en Paralelo.

$$S_{(s)} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - S_{(i)}) \quad (\text{Ec. 2.13})$$

De la ecuación anterior se deduce que cuando los equipos están conectados en paralelo, la confiabilidad del sistema es mayor que la probabilidad de sobrevivencia de cualquiera de sus partes. Las conexiones en paralelo aumentan la confiabilidad de un sistema; pero incrementan los costos de inversión. Se recomienda para casos críticos.

Sistemas mixtos (k de n): Esta configuración es básicamente la misma del sistema paralelo; pero con una excepción, la cual es que al menos “k” unidades deben funcionar normalmente para el éxito del sistema, es decir, el sistema puede operar sin que se afecte la producción hasta un determinado número de equipos en falla (existen carga compartidas). Físicamente están conectados en paralelo; pero operacionalmente no lo están.

Este método, se basa en considerar todas las combinaciones del número de equipos que pueden fallar. Si un sistema tiene “n” equipos, habrá 2 combinaciones, donde el 2 se debe a los eventos de sobrevivencia y falla, mientras que “n” representa el número de equipos conectados. Para determinar las combinaciones que representan éxito del sistema hay que conocer el número de equipos que en tanto funcionen, aseguran la operación normal del sistema.

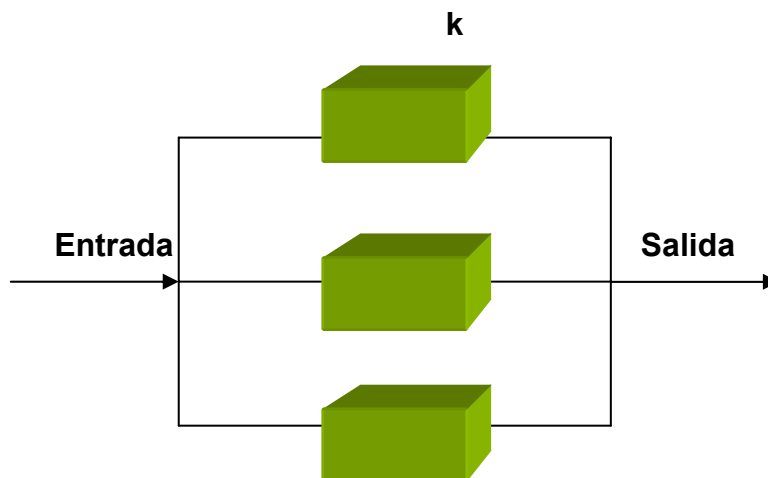


Fig. 2.5 - Diagrama de Bloques de un Sistema mixto (k de n).

$$S_{(s)} = \sum_{i=1} G_i = \text{Sumatoria de los grupos (combinaciones) de acuerdo al número}$$

(Ec. 2.14)

de equipos en falla permitida por el sistema.

Sistemas complejos: Un sistema se considera complejo, cuando no puede reducirse el esquema de confiabilidad a una configuración en serie, paralela o mixta.

La metodología consiste en contemplar todas las combinaciones de equipos que deben funcionar de manera adecuada para asegurar la operación del sistema, es decir, lo que se considera es la cantidad de manera en que un sistema se mantendría operativo.

Las combinaciones que se toman en cuenta para estimar la confiabilidad, son aquellas que permiten conseguir de acuerdo al esquema de confiabilidad una entrada y una salida del sistema con o sin fallas de equipos.

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1.- Tipo de Investigación.

En el presente trabajo de investigación se optó por la **Investigación Documental**. Con la investigación documental se logra el sustento principal de la investigación, las teorías que la fundamentan, las investigaciones previas que orientan y en las que se complementa el estudio y los referentes teóricos que constituyen el debe ser de las variables.

“La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios”. (Arias, 2006, p. 27). Se hará un análisis e interpretación de los documentos bibliográficos, manuales del fabricante, información histórica, bitácoras, etc.. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos para poner en práctica una actualización de los planes de mantenimiento en el sistema de molienda de cemento de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana.

En este tipo de investigación se tiene soporte de materiales bibliográficos y digital; que se registran, controlan y conservan para el historial de los equipos y operaciones diarias.

Es importante aclarar que, aun cuando las fuentes documentales aportan datos secundarios, éstas aportan información de relevancia como referencia de partida para el estudio de un hecho, con el fin de establecer repuesta a un comportamiento del sistema en estudio para la aplicación de mejores prácticas de inspección y ejecución del mantenimiento preventivo.

Se hará un estudio de las variables independientes a partir de datos secundarios y se fundamenta en la utilización de documentos de cifras o datos numéricos obtenidos y procesados por el personal de la empresa. Una vez que

se identifican los valores de las variables en estudio, se procede a determinar la correlación entre éstas.

A partir del análisis de estos datos secundarios se pueden elaborar importantes conclusiones relacionadas con el comportamiento o estado actual del sistema en estudio.

Además, se empleó una **Investigación Descriptiva**, que “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.” (Arias, 2006, p. 24), con el propósito de entender su naturaleza y factores constituyentes o predecir su ocurrencia.

3.2.- Metodología de Estimación de la Confiabilidad.

Para poder actualizar los planes de Mantenimiento Preventivo en función de la estimación de la Confiabilidad se procedió con una serie de etapas de búsqueda, recolección y análisis de información para la utilización de un método estadístico (Distribución de Weibull) que permitió estimar la Confiabilidad individual de los equipos y el comportamiento actual del sistema de molienda de cemento de la empresa.

La estimación de la confiabilidad del sistema se realizó en tres etapas:

- Etapa 1: Confiabilidad Individual de Equipos.
- Etapa 2: Esquema de confiabilidad.
- Etapa 3: Confiabilidad del Sistema.

Etapa 1: Utilización de un modelo paramétrico, en este caso la Distribución Weibull, para estimar la confiabilidad individual de los equipos industriales que participan en el sistema objeto de estudio.

Etapa 2: Se utilizó un esquema de confiabilidad que consiste en representar un sistema mediante diagramas de bloques que muestra en

secuencia los equipos que tienen que operar para que el sistema funcione, así como los caminos redundantes o alternativos que existan.

Etapa 3: En esta etapa se establecen las consideraciones generales para definir si la conexión entre los bloques es del tipo serie, paralelo o mixto (sistema k de n) y se propone el modelo matemático para estimar la confiabilidad del sistema.

3.3.- Población.

En el presente trabajo se estudió el funcionamiento y comportamiento de los equipos que integran el sistema de molienda de cemento de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana. Se consideró al sistema de molienda de cemento, todos los equipos del sistema, como la población en estudio.

Los elementos que integran el sistema de molienda de cemento, se mencionan a continuación:

- Alimentadores 1 y 2 (Alimentadores de clínker)
- Banda transportadora alimentación de clínker.
- Elevador vertical de cangilones (Elevador de clínker).
- Dosificadoras 1 y 2 (Dosificadoras de clínker).
- Dosificadora de yeso.
- Banda transportadora alimentación de clínker al Molino.
- Molino de bolas.
- Separador dinámico.
- Electrofiltro o Precipitador electrostático (despolvamiento del Molino).
- Elevador vertical de cangilones (Elevador salida del Molino).
- Aerodeslizadores (transporte de cemento).
- Sistema Neumático de transporte de cemento (Bombas Fuller).
- Elevador vertical de cangilones (Elevador de Despacho).

3.3.1.- Descripción Técnica de los equipos del Sistema de Molienda (Población).

Alimentadores #1 (Alimentador de clínker).

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Potencia 22,2 Kw., Corriente 75/37,5 amp., Tensión 308/460 v., Velocidad 1760/30 rpm.

Banda Transportadora: 1,2 metros de ancho x 19,0 metros de longitud.

Capacidad: 100 Ton./ horas.

Condición actual: En buen estado funcional. Requiere limpieza del área.

Alimentadores #2 (Alimentador de clínker).

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Potencia 22,2 Kw., Corriente 75/37,5 amp., Tensión 308/460 v., Velocidad 1760/30 rpm.

Banda Transportadora: 1,2 metros de ancho x 19,0 metros de longitud.

Capacidad: 100 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere limpieza del área.



Fig. 3.1 – Alimentadores de Clínker #1 y 2.

Banda larga de clínker.

Características técnicas:

Motor: Marca RELIANCE, Potencia 13,5 Kw., Corriente 40/20 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1760 rpm.

Banda Transportadora: 0,76 metros de ancho x 220,0 metros de longitud.

Capacidad: 400 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere de reposición de 30 rodillos de carga, 20 rodillos de retorna y 05 estaciones con rodillos de carga.



Fig. 3.2 – Banda larga de Clínker.

Elevador de cangilones (Elevador de clínker).

Características técnicas:

Marca: Polysius

Motor: Marca ABB, Potencia 67,11 Kw, Corriente 400/200 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1.800 rpm.

Elevador vertical de cangilones: 26,4 metros de altura entre ejes, 104 cangilones de 800 milímetros de ancho.

Capacidad: 200 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En precario estado funcional; amerita el reemplazo de la rueda motriz, sustitución de 75 cangilones, cambio de

cadena porta-cangilones y reparación total de la carcasa por presentar perforaciones.



Fig. 3.3 – Elevador de Clínker.

Dosificadora #1 (Dosificadora de clínker).

Características técnicas:

Motor: Marca BBC, Potencia 2,2 Kw., Corriente 8,6/4,3 amp., Tensión 230/460v., Velocidad 1.800/12 rpm.

Banda Transportadora: 1,2 metros de ancho x 1,5 metros de longitud.

Capacidad: 80 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere de un sistema de control de pesaje automático. El pesaje se realiza de manera manual (volumétrico).

Dosificadora #2 (Dosificadora de clínker).

Características técnicas:

Marca: Shenck.

Motor: Marca E.G MOTOR, Potencia 1,12 Kw., Corriente 7,3/2,7 amp., Tensión 200 vDC/ 100 vDC, Velocidad 1750/20,5 rpm.

Banda Transportadora: 1,2 metros de ancho x 2,5 metros de longitud.

Capacidad: 80 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere cambio de rodillos pesadores.

Dosificadora de Yeso.

Características técnicas:

Marca: Shenck.

Motor: Marca GE MOTOR D-C, Potencia 0,56 Kw., Corriente 3,8/0,3 amp., Tensión 180/200 v., Velocidad 1725/12 rpm.

Banda Transportadora: 1,2 metros de ancho x 3,0 metros de longitud.

Capacidad: 10 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere del reemplazo de la tarjeta del módulo de calibración y actualizar el módulo de calibración de pesaje.



Fig. 3.4 – Dosificadora de Yeso.

Banda alimentación de clínker al Molino.

Características técnicas:

Motor: Marca FLENDER HIMMEL, Potencia 5,5 Kw., Corriente 19,3/9,6 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1750/21 rpm.

Banda Transportadora: 0,61 metros de ancho x 107,0 metros de longitud.

Capacidad: 80 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere de reposición de 21 rodillos de carga, 10 rodillos de retorna y 05 estaciones con rodillos de carga.



Fig. 3.5 – Banda alimentación del Molino.

Molino de bolas.

Características técnicas:

Marca: Polysius.

Modelo: Doble cámara

Dimensiones: 3,40 metros de diámetro, 13,75 metros de longitud.

Motor: Marca Siemens, Tipo IRS332, Potencia 1.080 Kw x 02 motores, Corriente 130 amp., Tensión 6.000 v., Velocidad 890 rpm.

Capacidad: 60 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere del reemplazo de las placas del tabique de salida del Molino, cambio de placas del cono de entrada y sustitución del blindaje interno del gorrón de entrada.



Fig. 3.6 – Molino de bolas.

Separador dinámico.

Características técnicas:

Marca: Polysius.

Modelo: Turbo-Separador 2da Generación, Tipo AD.

Dimensiones: 6,0 metros de diámetro.

Motor reductor principal: Marca Siemens, Tipo 1LS2244, Potencia 132 Kw, Corriente 215 amp., Tensión 440 v., Velocidad 1.185/140 rpm.

Motor reductor secundario: Marca ABB, Tipo QU250LM, Potencia 44,7 Kw, Corriente 148/74 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1.180/140 rpm.

Capacidad: 150 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere reemplazo del reductor del ventilador principal.



Fig. 3.7 – Motores y reductores principal y secundario del Separador.
Electrofiltro o Precipitador electrostático (despolvamiento del Molino).

Características técnicas:

Marca: ELEX

Modelo: Doble cámara

Motor ventilador de Tiro: Marca SIEMENS, Tipo 1LA2206B3P33, Potencia 67 Kw, Corriente 108 amp., Tensión 440 v., Velocidad 1.180 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En regular estado funcional. Requiere reparación de bastidor de los electrodos de emisión, reemplazo del eje porta martillos golpeadores y reposición de 13 martillos de golpeo de la cámara #2.



Fig. 3.8 – Electrofiltro o Precipitador electrostático.

Elevador de cangilones (Elevador salida del Molino).

Características técnicas:

Marca: REXNORD

Modelo: ER-857

Motor: Marca WHESTINGHOUSE, Tipo LR47823 AP, Potencia 37,30 Kw, Corriente 114/57 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1.770/155 rpm.

Elevador vertical de cangilones: 30,0 metros altura entre ejes, 122 cangilones de 400 milímetros de ancho.

Capacidad: 200 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En regular estado funcional. Amerita reemplazo de la rueda motriz (manzana y 03 segmentos).



Fig. 3.9 – Elevador salida del Molino

Aerodeslizador #1 salida Molino.

Características técnicas:

Motor: Marca BAUER, Tipo DK942H/24, Potencia 1,15 Kw, Corriente 3,23 amp., Tensión 440 v., Velocidad 1.716 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional. Requiere balanceo de la turbina.

Aerodeslizador #2 salida Molino.

Características técnicas:

Motor: Marca BBC, Tipo QU90S2AT, Potencia 1,8 Kw, Corriente 6,56/3,2 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 3.440 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.

Aerodeslizador #1 entrada Separador Dinámico.

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Tipo QU90S2AT, Potencia 1,5 Kw, Corriente 6,53/3,2 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 3.434 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.

Aerodeslizador #2 entrada Separador Dinámico.

Características técnicas:

Motor: Marca TRANSMISIONES S.A, Tipo FRDN1000LX2, Potencia 3,7 Kw, Corriente 13,8/6,9 amp., Tensión 240/440 v., Velocidad 3.500 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.

Aerodeslizador #1 Despacho.

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Tipo QU100L2A, Potencia 3,58 Kw, Corriente 12,6/8,4 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 3.490 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.

Aerodeslizador #2 Despacho.

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Tipo QU100L2AT, Potencia 3,58 Kw, Corriente 12,6/6,8 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 3.480 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.

Aerodeslizador #3 Despacho.

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Tipo QU100L2AT, Potencia 3,6 Kw, Corriente 12,6/6,3 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 3.430 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.

Aerodeslizador #4 Despacho.

Características técnicas:

Motor: Marca ABB, Tipo QU100L2A, Potencia 3,58 Kw, Corriente 12,56/6,26 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 3.480 rpm.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.



Fig. 3.10 – Aerodeslizadores (sistema transporte neumático).

Sistema Neumático de transporte (bombas Fuller).

Características técnicas:

Marca: Fuller.

Modelo: 110L.

Motor Bomba #1: Marca ABB, Tipo QU315MGCK, Potencia 132 Kw, Corriente 400/200 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1.185 rpm.

Motor Bomba #2: Marca ABB, Tipo QU315MGCK, Potencia 132 Kw, Corriente 400/200 amp., Tensión 230/460 v., Velocidad 1.185 rpm.

Motor Compresor #1: Marca RELIANCE, Tipo P44G5618D, Potencia 150 Kw, Corriente 225 amp., Tensión 460 v., Velocidad 1.785 rpm.

Motor Compresor #2: Marca RELIANCE, Tipo P44G5618D, Potencia 150 Kw, Corriente 225 amp., Tensión 460 v., Velocidad 1.785 rpm.

Motor Compresor #3: Marca RELIANCE, Tipo P44G5618D, Potencia 150 Kw, Corriente 225 amp., Tensión 460 v., Velocidad 1.785 rpm.

Capacidad: 110 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En regular estado funcional. De las 02 bombas del sistema, 01 esta fuera de servicio por rotura.



Fig. 3.11 – Bomba Fuller.

Elevador de cangilones (Elevador de Despacho).

Características técnicas:

Marca: REXNORD

Modelo: ER-956.

Motor: Marca SIEMENS, Tipo 1LA2134, Potencia 22,2 Kw, Corriente 38 amp., Tensión 440 v., Velocidad 1.760 rpm

Elevador vertical de cangilones: 30,5 m. altura entre ejes, cangilones de 800mm. de ancho.

Capacidad: 400 Ton./ horas.

Condición actual (Diciembre 2008): En buen estado funcional.



Fig. 3.12 – Elevador de Despacho.

3.4.- Recolección de Datos.

En el presente estudio, los Departamentos de Mantenimiento y Producción facilitaron toda la información requerida para llevar a efecto el estudio y análisis de este proyecto. Los datos suministrados corresponden a los controles diarios de la operación de molienda de cemento, ya que estos representan los datos históricos de condiciones funcionales de los equipos de molienda de la empresa. Se tomaron y analizaron los datos desde el año 2006 al 2007, ya que estos representan valores que indican el comportamiento de las condiciones de los equipos actuales y la ejecución de las actividades de mantenimiento.

Cabe destacar que los equipos estudiados corresponden a subsistemas compuestos por componentes mecánicos, eléctricos e instrumentación; y todos los subsistemas comprende el sistema de molienda de cemento de la Planta.

Los reportes de Tiempos Entre Fallas (TEF), expresados en horas, durante el lapso de tiempo 2006-2007 se encuentran en el Anexo #1.

3.4.1.- Datos de Fallas de los Equipos.

Los Tiempos Entre Fallas (TEF) están comprendidos desde el momento en que ocurrió la falla (paro del equipo) hasta su momento de reparación o arranque, es decir, las horas operativas continuas sin fallas de cada equipo. Por ejemplo, desde el 21/03/2006 hasta el 21/07/2006 el Alimentador #1 estuvo operativo sin fallar 1.150 horas.

A continuación se presentan una serie de tablas con el resumen de Tiempo Entre Fallas (TEF), expresados en horas, de cada uno de los equipos que conforman el Sistema de Molienda de cemento.

Tabla 3.1. Fallas ocurridas en el Alimentador #1.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
21/03/2006	Banda transportadora	1150	Rep. banda transportadora
21/07/2006	Banda transportadora	1730	Rotura banda transportadora
14/01/2007	Banda transportadora	1453	Rotura banda transportadora
21/06/2007	Banda transportadora		Rotura banda transportadora

Tabla 3.2. Fallas ocurridas en el Alimentador #2.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
05/03/2006	Banda transportadora	1537	Rotura guía de goma
15/08/2006	Banda transportadora	1581	Rotura banda transportadora
07/02/2007	Banda transportadora	1236	Rotura banda transportadora
15/06/2007	Banda transportadora	1865	Rotura banda transportadora
30/11/2007	Banda transportadora	200	Rotura banda transportadora
19/12/2007	Banda transportadora		Rotura banda transportadora

Tabla 3.3. Fallas ocurridas en la Banda alimentación de clínker.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
04/01/2006	Banda transportadora	463	Rotura banda transportadora
25/02/2006	Banda transportadora	963	Rodillos y estaciones trancadas
05/06/2006	Banda transportadora	590	Rotura banda transportadora
31/07/2006	Banda transportadora	1042	Rotura banda transportadora
13/11/2006	Banda transportadora	578	Rotura banda transportadora
17/01/2007	Banda transportadora		Rotura banda transportadora

Tabla 3.4. Fallas ocurridas en el Elevador de clínker.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
06/05/2006	Cadena	97	Rep. de grapas de cadena
14/05/2006	Cadena	1139	Rep. de grapas de cadena
05/09/2006	Cadena	2781	Rep. de cangilones
25/06/2007	Rueda motriz	1150	Rotura de segmentos
05/10/2007	Rueda motriz		Rotura de segmentos

Tabla 3.5. Fallas ocurridas en la Dosificadora de clínker #1.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
09/01/2006	Motor	252	Cambio de contactor y térmicos
05/03/2006	Tolva de descarga	1038	Bajante obstruido
08/10/2006	Banda transportadora	116	Desalineación de banda
01/11/2006	Banda transportadora	193	Reemplazo de banda
12/12/2006	Tolva de descarga		Desprendimiento de tolva

Tabla 3.6. Fallas ocurridas en la Dosificadora de clínker #2.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
10/01/2006	Variador de frecuencia	3529	Cambio de variador de frecuen.
16/09/2006	Banda transportadora	3476	Rotura banda transportadora
30/05/2007	Motor	465	Falla en el sistema de control

20/06/2007	Motor		Motor dañado
------------	-------	--	--------------

Tabla 3.7. Fallas ocurridas en la Dosificadora de yeso.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
22/05/2007	Motor	1735	Falla en el motor
08/08/2007	Motor		Falla en el motor

Tabla 3.8. Fallas ocurridas en la Banda alimentación del Molino.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
30/01/2006	Banda transportadora	3664	Banda trancada, fuga material
08/08/2006	Banda transportadora	81	Cambio de sección de banda
12/08/2006	Banda transportadora	630	Cambio de sección de banda
07/09/2006	Banda transportadora	465	Desalineación de banda
27/09/2006	Banda transportadora	3035	Desalineación de banda
19/03/2007	Banda transportadora	1637	Banda trancada, fuga material
06/06/2007	Banda transportadora	54	Banda trancada, fuga material
08/06/2007	Banda transportadora	53	Banda trancada, fuga material
10/06/2007	Banda transportadora	16	Banda trancada, fuga material
11/06/2007	Banda transportadora	282	Banda trancada, fuga material
23/06/2007	Banda transportadora	206	Banda trancada, fuga material

01/07/2007	Banda transportadora	607	Banda trancada, fuga material
27/07/2007	Banda transportadora	43	Rep. banda transportadora
29/07/2007	Banda transportadora	518	Cambio de banda
20/08/2007	Banda transportadora	145	Banda trancada, fuga material
26/08/2007	Banda transportadora		Banda trancada, fuga material

Tabla 3.9. Fallas ocurridas en el Molino.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
16/01/2006	Sist. engrase corona	129	Falla en el sistema engrase
21/01/2006	Casco del Molino	504	Perno partido en cono entrada
12/02/2006	Casco del Molino	485	Perno partido en el casco
10/03/2006	Chute alimentación	800	Reparación de bajante
16/03/2006	Cojinete #17	365	Alta temperatura en el cojinete
02/04/2006	Casco del Molino	560	Perno partido en el casco
26/04/2006	Cojinete #19	109	Cable suelto de termocupla
01/05/2006	Reductor #2	72	Rep. tubería de lubricación
04/05/2006	Sist. engrase corona	48	Falla de aire comprimido
06/05/2006	Cojinete #7	39	Cable suelto de termocupla
08/05/2006	Cojinete #18	300	Alta temperatura en el

			cojinete
20/05/2006	Sist. lub. Reductores	399	Falla en el sensor del sistema
07/06/2006	Transformador	89	Falla transformador 2500 kva
29/06/2006	Cojinete principal	609	Rotura de serpentín
23/07/2006	Cojinete principal	61	Falla en termocupla
26/07/2006	Sist. engrase corona	295	Falla en el sistema engrase
07/08/2006	Cojinete #7	33	Falla en termocupla
09/08/2006	Cojinete principal	55	Falla en termocupla
12/09/2006	Cojinete #7	90	Falla en termocupla
16/09/2006	Sist. engrase corona	288	Falla en el sistema engrase
28/10/2006	Sist. iny. de agua	118	Rep. de tubería
02/11/2006	Transmisión Molino	420	Reparación de cardán
26/11/2006	Cojinete #17	154	Falla en termocupla
01/12/2006	Cojinete #19	631	Falla en termocupla
27/12/2006	Tabique central	320	Rotura de placa de tabique
13/01/2007	Sist. iny. de agua	192	Válvula dañada
21/01/2007	Sist. engrase corona	362	Obstrucción de inyectores
21/02/2007	Sist. engrase corona	114	Falla en el sistema engrase
26/02/2007	Cojinete #11	87	Cable partido
03/03/2007	Sist. iny. de agua	94	Falla en el sistema
06/03/2007	Cojinete #19	102	Reemplazo de termocupla
11/04/2007	Motor principal	182	Falla motor de enfriamiento
18/04/2007	Sala alta tensión	191	Fusible fundido

27/04/2007	Reductor #1	64	Limpieza intercambiador-calor
30/04/2007	Motor principal	1148	Daño en el contactor del motor
24/06/2007	Cojinete principal	209	Falla en termocupla
03/07/2007	Casco del Molino	249	Perno partido en el casco
14/07/2007	Sist. engrase corona	67	Quemada bobina del motor
17/07/2007	Tablero principal	76	Falla en el fusible del CCM
20/07/2007	Sist. iny. de agua	271	Motor quemado
01/08/2007	Cojinete principal	81	Falla en el relé de termocupla
05/08/2007	Tabique central	47	Rotura de placa de tabique
09/08/2007	Tabique central	280	Recarga de cámara 2
21/10/2007	Sist. engrase corona	485	Falla bomba de lubricación
10/11/2007	Tabique central	114	Rotura de rejilla central
17/11/2007	Transformador	751	Cortocircuito copa term. 13,8kv
22/12/2007	Casco del Molino		Perno partido cono entrada

Tabla 3.10. Fallas ocurridas en el Separador Dinámico.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
16/01/2006	Plato dispersor	556	Plato dispersor obstruido
13/02/2006	Ventilador secundario	594	Desprendimiento de paletas
17/03/2006	Ventilador secundario	1269	Reposición de paletas
26/05/2006	Reductor	575	Reposición de bulones

	principal		acople
19/07/2006	Reductor principal	1201	Dañado reductor principal
26/07/2006	Motor reductor Princ..	210	Cambio de motor
04/08/2006	Rodamiento de pie	47	Limpieza y cambio de grasa
06/08/2006	Ventilador secundario	372	Dañado rodamiento de entrada
26/08/2006	Ventilador principal	82	Dañado rodamiento de entrada
01/09/2006	Plato dispersor	139	Desprendimiento puerta visita
06/09/2006	Ventilador secundario	1065	Ajuste de paletas y limpieza
29/10/2006	Sistema lubricación	477	Falla en el sistema lubricación
25/11/2006	Sistema lubricación	610	Falla en el sistema lubricación
26/12/2006	Reductor principal	178	Reposición de bulones acople
05/01/2007	Sistema lubricación	64	Falla en el sistema lubricación
09/01/2007	Sistema lubricación	62	Falla en el sistema lubricación
12/01/2007	Reductor secundario	300	Rep. visor de nivel de aceite
01/03/2007	Rodamiento de pie	72	Falla en el rodamiento de pie
05/03/2007	Ventilador secundario	51	Rótula del tensor #3 dañada
06/03/2007	Reductor	41	Solturas de pernos acople

	principal		
08/03/2007	Ventilador secundario	188	Revisión de ventiladores
17/03/2007	Ventilador secundario	218	Arrastre de ventiladores
28/03/2007	Ventilador secundario	70	Arrastre de ventiladores
02/04/2007	Motor reductor sec.	301	Cambio de motor y reductor
17/04/2007	Rodamiento de pie	290	Rodamiento trancado
02/05/2007	Rodamiento de pie	107	Limpieza y cambio de grasa
06/05/2007	Ventilador principal		Rep. de turbina

Tabla 3.11. Fallas ocurridas en el Electrofiltro.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
28/01/2006	Rosca de descarga	40	Dañado acople
30/01/2006	Bastidor	156	Rotura de la base bastidor
06/02/2006	Placas de captación	419	Aterramiento de electrofiltro
24/02/2006	Placas de captación	600	Aterramiento de electrofiltro
21/03/2006	Placas de captación	497	Aterramiento de electrofiltro
11/04/2006	Bastidor	405	Desplazamiento de bastidor
28/04/2006	Electrodos de emisión	375	Aterramiento de electrofiltro
14/05/2006	Ventilador de tiro	161	Alta vibraciones
21/05/2006	Electrodos de emisión	309	Rep. electrodos desprendido
02/06/2006	Placas de captación	217	Aterramiento de cámara 1
12/06/2006	Ventilador de tiro	215	Alta vibraciones

21/06/2006	Ventilador de tiro	1625	Alta vibraciones
11/09/2006	Ventilador de tiro	1755	Alta vibraciones
07/12/2006	Electrodos de emisión	2180	Aterramiento de electrofiltro
08/04/2007	Bastidor	1038	Base desprendido
21/05/2007	Ventilador de tiro	165	Inter. del ventilador
28/05/2007	Placas de captación	2084	Inter. interna del electrofiltro
28/08/2007	Ventilador de tiro	1492	Alta vibraciones
01/11/2007	Ventilador de tiro		Alta vibraciones

Tabla 3.12. Fallas ocurridas en el Elevador salida del Molino.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
15/05/2006	Rueda motriz	241	Desplazamiento de eje
26/05/2006	Rueda motriz	390	Reemplazo de rodamiento
13/06/2006	Rueda motriz	718	Cambio de sello en soporte
12/07/2006	Rueda motriz	1029	Reemplazo de rodamiento
01/09/2006	Cadena-cangilones	72	Rotura de cadena
04/09/2006	Carcaza	499	Rotura de carcaza
25/09/2006	Cadena-cangilones	129	Rotura de cadena
01/10/2006	Cadena-cangilones	250	Descarrilamiento de cadena
12/10/2006	Cadena-cangilones	210	Descarrilamiento de cadena
22/10/2006	Cadena-cangilones		Descarrilamiento de cadena

Tabla 3.13. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #1 salida Molino.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
03/06/2006	Lona	958	Obstrucción interna
15/07/2006	Lona		Rotura de lona

Tabla 3.14. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #2 salida Molino.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
03/02/2006	Motor	2436	Dañado rodamiento del motor
09/06/2006	Motor	3144	Motor dañado
10/11/2006	Turbina	1694	Desbalance de turbina
18/02/2007	Motor	2892	Fundidos cables del motor
07/07/2007	Lona		Cambio de lona

Tabla 3.15. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #1 entrada Separador.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
20/12/2006	Motor	641	Cortocircuito en el motor
07/01/2007	Lona	616	Obstrucción interna
26/02/2007	Motor	1949	Alto amperaje del motor
01/06/2007	Lona		Cambio de lona

Tabla 3.16. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #2 entrada Separador.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
18/02/2007	Motor	2891	Fundidos cables del motor
07/07/2007	Lona		Cambio de lona

Tabla 3.17. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #1 Despacho.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
16/08/2006	Contactador	66	Falla en contactador
19/08/2006	Motor	2820	Cable dañado
08/01/2007	Motor	2150	Motor quemado
11/05/2007	Turbina		Soltura en la turbina

Tabla 3.18. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #3 Despacho.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
21/01/2006	Motor	116	Motor quemado
26/01/2006	Turbina	6508	Turbina dañada
02/01/2007	Soportes	760	Cambio de rodamientos
28/02/2007	Turbina	2377	Turbina dañada
25/06/2007	Lona		Obstrucción interna

Tabla 3.19. Fallas ocurridas en el Aerodeslizador #4 Despacho.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
26/01/2006	Motor	3683	Instalación eléctrica del motor
07/08/2006	Motor		Cambio de motor

Tabla 3.20. Fallas ocurridas en la Bomba Fuller.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
06/01/2006	Tambor o cuerpo	62	Rodamiento dañado
16/01/2006	Sistema de aire	55	Falla en el sistema de aire
21/01/2006	Tambor o cuerpo	234	Prensaestopas dañado
15/02/2006	Compresor #1	747	Rotura de las paletas
09/05/2006	PLC	405	Falla en el sistema PLC
18/06/2006	Tambor o cuerpo	1883	Prensaestopas dañado
02/01/2007	Motor	824	Avería en acometida principal
12/04/2007	Compresor #2	128	Roturas de aspas (paletas)
24/04/2007	Compresor #1	786	Roturas de aspas (paletas)
10/07/2007	Sistema de aire		Falla en el sistema de aire

Tabla 3.21. Fallas ocurridas en el Elevador de Despacho.

Fecha	Componente	TEF	Descripción del problema
07/05/2006	Rueda motriz	168	Rotura de segmentos
15/05/2006	Cadena-cangilones	11	Rotura de cadena
16/05/2006	Motor	528	Motor dañado
11/06/2006	Motor	5006	Térmico disparado
15/03/2007	Motor		Motor dañado

3.5.- Modelo a Aplicar.

El método estadístico aplicado al Sistema de Molienda de Cemento de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana es el Modelo Paramétrico de la **Distribución de Weibull**, que analiza los Tiempos Entre Fallas (**TEF**) y la Frecuencia Acumulada de Fallas (**Fi**) con los cuales se obtienen los parámetros de forma (β), escala (η) y posición (θ) lo que permitió estimar la Confiabilidad individual de los equipos del sistema en estudio. Este sistema de molienda de cemento está compuesto de dos (02) sistemas interconectado por un Silo de Almacenamiento, ver diagrama de proceso de molienda en el Anexo, el cual consta de los siguientes equipos:

Sistema de alimentación de Clínker:

- Alimentadores 1 y 2 (Alimentadores de clínker)
- Banda transportadora alimentación de clínker.
- Elevador de cangilones (Elevador de clínker).

Sistema de molienda de clínker:

- Dosificadoras 1 y 2 (Dosificadoras de clínker).
- Dosificadora de yeso.
- Banda transportadora alimentación de clínker al Molino.
- Molino de bolas.

- Separador dinámico.
- Electrofiltro o Precipitador electrostático (despolvamiento del Molino).
- Elevador de cangilones (Elevador salida del Molino).
- Aerodeslizadores (transporte de cemento).
- Sistema Neumático de transporte (bombas Fuller).
- Elevador de cangilones (Elevador de Despacho).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.- Estimación de la Confiabilidad de los Equipos.

Realizado el proceso de recolección de la información técnica y de los datos históricos correspondiente a los equipos individuales del sistema, se procedió a la reclasificación y organización de la información recabada para poder llevar a cabo los cálculos estadísticos y matemáticos del sistema.

Con los datos organizados se aplicó el modelo paramétrico a través de la distribución estadística de Weibull, aunque exige varios pasos y una o dos iteraciones, es relativamente directo y requiere, a lo sumo, álgebra sencilla.

Para calcular la Confiabilidad individual de los equipos, se procedió con lo siguiente:

- ❖ Preparación de los datos: Tiempo Entre Fallas (**TEF**), expresados en horas, y Frecuencia acumulada entre Fallas (**Fi**).
- ❖ Se tabulan los Tiempos Entre Fallas (**TEF**) y se clasifican en orden creciente.
- ❖ Se calculan las Frecuencia acumulada entre Fallas (**Fi**), expresadas en porcentajes (%).
- ❖ Se grafican las coordenadas de los puntos (**TEF**, **Fi**) en el papel de Weibull.
- ❖ Determinar los parámetros de forma (β), escala (α) y posición (γ); mediante un procedimiento gráfico trazado en el **papel de Weibull**.
- ❖ Calcular la Confiabilidad de los equipos utilizando los parámetros de forma (β), escala (α) y posición (γ) hallados previamente.

En las tablas de la 4.1 a la 4.21 se muestran los resultados de frecuencia acumulada de falla (**Fi**) de cada equipo, utilizando las ecuaciones para el tamaño de las muestras (**orden = n**).

Casos:

Para tamaño de muestra $n > 50$ $F(i) = i / n$ (Ec. 2.9)

Para $20 < n \leq 50$ $F(i) = i / (n + 1)$ (Ec. 2.10)

Para $n \leq 20$ $F(i) = (i - 0,3) / (n + 0,4)$ (Ec. 2.11)

Tabla 4.1. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Alimentador #1.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	1173	20,59	Rep. banda transportadora
2	1453	50,00	Rotura banda transportadora
3	1730	79,41	Rotura banda transportadora

Tabla 4.2. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Alimentador #2.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	200	12,96	Rotura banda transportadora
2	1236	31,48	Rotura banda transportadora
3	1537	50,00	Rotura guía de goma
4	1581	68,52	Rotura banda transportadora
5	1865	87,04	Rotura banda transportadora

Tabla 4.3. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad de la Banda larga Clíinker.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	463	12,96	Rotura banda transportadora
2	578	31,48	Rotura banda transportadora

3	590	50,00	Rotura banda transportadora
4	963	68,52	Rodillos y estaciones trancadas
5	1042	87,04	Rotura banda transportadora

Tabla 4.4. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Elevador de Clínker.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	97	15,91	Rep. de grapas de cadena
2	1139	38,64	Rep. de grapas de cadena
3	1150	61,36	Rotura de segmentos
4	2781	84,09	Rep. de cangilones

Tabla 4.5. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Dosificador #1 de Clínker.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	124	15,91	Desalineación de banda
2	193	38,64	Reemplazo de banda
3	252	61,36	Cambio de contactor y térmicos
4	1038	84,09	Bajante obstruido

Tabla 4.6. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Dosificador #2 de Clínker.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	465	20,59	Falla en el sistema de control
2	3476	50,00	Rotura banda transportadora
3	3529	79,41	Reemplazo de variador frecuencia

Tabla 4.7. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Dosificador de Yeso.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	1735	50,00	Falla en el motor

Tabla 4.8. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad de la Banda alimentación.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	16	4,55	Banda trancada, fuga material
2	43	11,04	Rep. banda transportadora
3	53	17,53	Banda trancada, fuga material
4	54	24,03	Banda trancada, fuga material
5	81	30,52	Cambio de sección de banda
6	145	37,01	Banda trancada, fuga material
7	206	43,51	Banda trancada, fuga material
8	282	50,00	Banda trancada, fuga material
9	465	56,49	Desalineación de banda
10	518	62,99	Cambio de banda
11	607	69,48	Banda trancada, fuga material
12	630	75,97	Cambio de sección de banda
13	1637	82,96	Banda trancada, fuga material
14	3035	88,96	Desalineación de banda
15	3664	95,45	Banda trancada, fuga material

Tabla 4.9. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Molino.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	27	2,13	Falla de aire comprimido
2	33	4,26	Falla en termocupla
3	39	6,38	Cable suelto de termocupla
4	47	8,51	Rotura de placa de tabique

5	55	10,64	Falla en termocupla
6	61	12,77	Falla en termocupla
7	64	14,89	Limpieza intercambiador-calor
8	67	17,02	Quemada bobina del motor
9	72	19,14	Rep. tubería de lubricación
10	76	21,27	Falla en el fusible del CCM
11	80	23,40	Falla en termocupla
12	81	25,53	Falla en el relé de termocupla
13	87	27,66	Cable partido
14	94	29,79	Falla en el sistema
15	102	31,91	Reemplazo de termocupla
16	109	34,04	Cable suelto de termocupla
17	114	36,17	Falla en el sistema engrase
18	114	38,29	Rotura de rejilla central
19	118	40,42	Rep. de tubería
20	129	42,55	Falla en el sistema engrase
21	154	44,68	Falla en termocupla
22	182	46,81	Falla motor de enfriamiento
23	185	48,94	Falla en termocupla
24	191	51,06	Fusible fundido
25	192	53,19	Válvula dañada
26	249	55,32	Perno partido en el casco
27	271	57,45	Motor quemado
28	280	59,57	Recarga de cámara 2
29	288	61,70	Falla en el sistema engrase
30	295	63,83	Falla en el sistema engrase
31	295	65,96	Alta temperatura en el cojinete
32	320	68,09	Rotura de placa de tabique
33	337	70,21	Alta temperatura en el cojinete
34	362	72,34	Obstrucción de inyectores
35	399	74,47	Falla en el sensor del sistema
36	420	76,60	Reparación de cardán

37	485	78,72	Perno partido en el casco
38	485	80,85	Falla bomba de lubricación
39	489	82,98	Falla transformador 2500 kva
40	504	85,11	Perno partido en cono entrada
41	552	87,23	Perno partido en el casco
42	597	89,36	Rotura de serpentín
43	631	91,49	Falla en termocupla
44	751	93,62	Cortocircuito copa term. 13,8kv
45	800	95,74	Reparación de bajante
46	1148	97,87	Daño en el contactor del motor

Tabla 4.10. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Separador Dinámico.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	30	3,70	Rótula del tensor #3 dañada
2	41	7,41	Solturas de pernos acople
3	47	11,11	Limpieza y cambio de grasa
4	62	14,81	Falla en el sistema lubricación
5	64	18,52	Falla en el sistema lubricación
6	70	22,22	Arrastre de ventiladores
7	72	25,92	Falla en el rodamiento de pie
8	82	29,63	Dañado rodamiento de entrada
9	107	33,33	Limpieza y cambio de grasa
10	139	37,04	Desprendimiento puerta visita
11	165	40,74	Revisión de ventiladores
12	178	44,44	Reposición de bulones acople
13	210	48,15	Cambio de motor
14	218	51,85	Arrastre de ventiladores
15	290	55,55	Rodamiento trancado
16	300	59,26	Rep. visor de nivel de aceite
17	301	62,96	Cambio de motor y reductor

18	372	66,67	Dañado rodamiento de entrada
19	477	70,37	Falla en el sistema lubricación
20	556	74,07	Plato dispersor obstruido
21	575	77,78	Reposición de bulones acople
22	594	81,48	Desprendimiento de paletas
23	610	85,19	Falla en el sistema lubricación
24	1065	88,89	Ajuste de paletas y limpieza
25	1201	92,59	Dañado reductor principal
26	1269	96,30	Reposición de paletas

Tabla 4.11. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Electrofiltro.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	40	3,80	Dañado acople
2	156	9,24	Rotura de la base bastidor
3	161	14,67	Alta vibraciones
4	165	20,11	Inter. del ventilador
5	215	25,54	Alta vibraciones
6	217	30,98	Aterramiento de cámara 1
7	309	36,41	Rep. electrodos desprendido
8	375	41,84	Aterramiento de electrofiltro
9	405	47,28	Desplazamiento de bastidor
10	431	52,72	Aterramiento de electrofiltro
11	497	58,15	Aterramiento de electrofiltro
12	600	63,59	Aterramiento de electrofiltro
13	1038	69,02	Base desprendido
14	1492	74,46	Alta vibraciones
15	1625	79,89	Alta vibraciones
16	1755	85,33	Alta vibraciones
17	2084	90,76	Inter. interna del electrofiltro
18	2180	96,20	Aterramiento de electrofiltro

Tabla 4.12. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Elevador salida Molino.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	72	7,45	Rotura de cadena
2	129	18,09	Rotura de cadena
3	210	28,72	Descarrilamiento de cadena
4	241	39,36	Desplazamiento de eje
5	250	50,00	Descarrilamiento de cadena
6	390	60,64	Reemplazo de rodamiento
7	499	71,28	Rotura de carcasa
8	718	81,91	Cambio de sello en soporte
9	1029	92,55	Reemplazo de rodamiento

Tabla 4.13. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #1 salida Molino.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	958	50,00	Obstrucción interna

Tabla 4.14. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #2 salida Molino.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	1694	15,91	Desbalance de turbina
2	2436	38,64	Dañado rodamiento del motor
3	2892	61,36	Fundidos cables del motor
4	3144	84,09	Motor dañado

Tabla 4.15. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #1 entrada Separador.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	616	20,59	Obstrucción interna
2	641	50,00	Cortocircuito en el motor

3	1949	79,41	Alto amperaje del motor
---	------	-------	-------------------------

Tabla 4.16. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #2 entrada Separador.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	2891	50,00	Fundidos cables del motor

Tabla 4.17. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #1 Despacho.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	66	20,59	Falla en contactor
2	2150	50,00	Motor quemado
3	2820	79,41	Cable dañado

Tabla 4.18. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #3 Despacho.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	116	15,91	Motor quemado
2	760	38,64	Cambio de rodamientos
3	2377	61,36	Turbina dañada
4	6508	84,09	Turbina dañada

Tabla 4.19. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Aerod. #4 Despacho.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	3683	50,00	Instalación eléctrica del motor

Tabla 4.20. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad de la Bomba Fuller.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	55	7,45	Falla en el sistema de aire

2	62	18,09	Prensaestopas dañado
3	128	28,72	Rotura de aspas Compresor #1
4	234	39,36	Falla en el sistema PLC
5	405	50,00	Prensaestopas dañado
6	747	60,64	Avería en acometida principal motores
7	786	71,28	Alineación y balanceo
8	824	81,91	Rotura de aspas Compresor #2
9	1883	92,55	Rotura de aspas Compresor #1

Tabla 4.21. Datos ordenados para calcular la Confiabilidad del Elevador de Despacho.

Orden	TEF	F(i) %	Descripción del problema
1	11	15,91	Rotura de cadena
2	168	38,64	Rotura de segmentos
3	528	61,36	Motor dañado
4	5006	84,09	Térmico disparado

Después de organizado los datos se procedió a graficar los **TEF vs F(i)** en el **papel de Weibull** para poder obtener los parámetros de forma (β), escala (η) y posición (θ) de cada equipo y con éstos determinar la Confiabilidad individual de los equipos del Sistema de Molienda de cemento de Planta Guayana, mediante la ecuación establecida en el **Capítulo II, sección 2.2.2 (Ec. 2.5)**:

$$R(t) = e^{-(t - \theta / \eta)^\beta} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

En la tabla 4.22 se muestran los resultados de los parámetros de Weibull y la confiabilidad de los equipos para un tiempo **t = 720 horas**, horas calendario para un mes de 30 días.

Tabla 4.22. Valores de los parámetros de posición, forma, escala y la Confiabilidad de los equipos del Sistema de molienda de Planta Guayana.

Equipos	Parámetro Posición \square	Parámetro Forma β	Parámetro Escala \square	Confiabilidad $R_{(t)}$ %
Alimentador #1	0	2,20	1.450	0,81
Alimentador #2	0	3,60	1.600	0,95
Banda larga de clínker	0	3,10	850	0,55
Elevador de clínker	0	0,70	1.400	0,53
Dosificadora clínker #1	0	0,60	300	0,19
Dosificadora clínker #2	0	0,90	2.400	0,71
Dosificadora yeso	-	-	-	1,00
Banda alimentación	0	0,62	540	0,31
Molino	0	0,50	260	0,19
Separador Dinámico	0	0,60	390	0,24
Electrofiltro	0	0,80	760	0,38
Elevador salida Molino	0	1,00	510	0,24
Aerodeslizador #1 S. M.	0	-	-	1,00
Aerodeslizador #2 S. M.	0	3,20	2.700	0,98
Aerodeslizador #1 E. S	0	1,60	1.250	0,66
Aerodeslizador #2 E. S	-	-	-	1,00
Aerodeslizador #1 D	0	0,45	1.750	0,51
Aerodeslizador #2 D	-	-	-	1,00
Aerodeslizador #3 D	0	0,60	2.400	0,62
Aerodeslizador #4 D	-	-	-	1,00
Bomba Fuller	0	0,60	550	0,31
Elevador de Despacho	0	0,40	900	0,40

4.2.- Elaboración de los Esquemas de Confiabilidad del Sistema.

Primeramente se elaboró los diagramas de bloques del Sistema de Molienda de cemento de Planta Guayana:

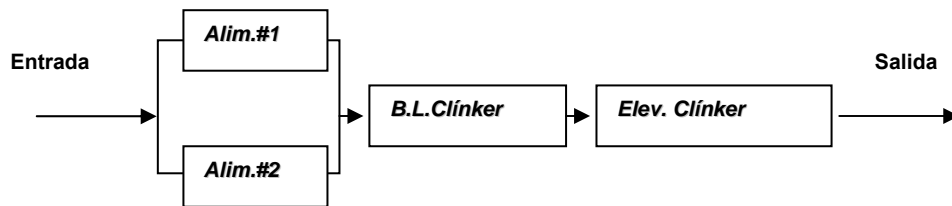


Fig. 4.1- Diagrama de Bloques del Sistema de alimentación de clínker de Planta Guayana.

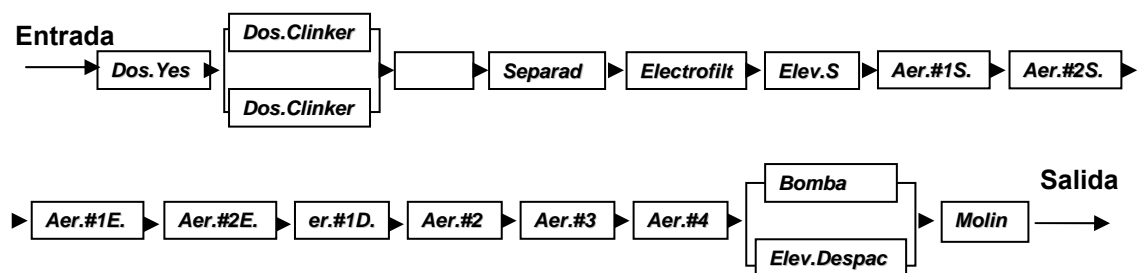


Fig. 4.2- Diagrama de Bloques del Sistema de Molienda de clínker de Planta Guayana.

Posteriormente se colocan los valores de Confiabilidad de cada equipo en los esquemas de confiabilidad del sistema de molienda de cemento Planta Guayana, los cuales se muestran en las figuras de la 4.3 y 4.4.

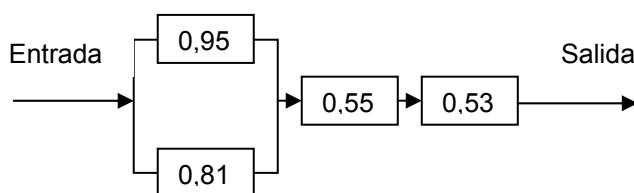


Fig. 4.3- Esquema de Confiabilidad del Sistema de alimentación de clínker de Planta Guayana.

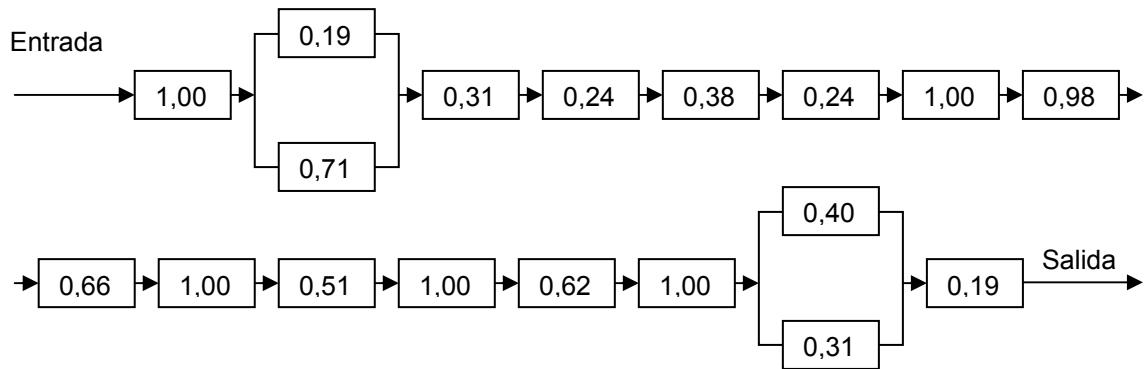


Fig. 4.4- Esquema de Confiabilidad del Sistema de Molienda de clínker de Planta Guayana.

4.3.- Cálculo de Confiabilidad del Sistema.

Al determinarse la Confiabilidad individual de los equipos se procedió a la estimación de la confiabilidad de los sistemas representados en los esquemas anteriores para un tiempo $t = 720$ horas, horas calendario para un mes de 30 días.

4.3.1.- Estimación de la Confiabilidad de Subsistemas en paralelos.

La Confiabilidad de los subsistemas en paralelo se calculó usando la expresión establecida en el **Capítulo II, sección 2.2.3 (Ec. 2.13)**:

$$S_{(s)} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - S_{(i)}) \quad (\text{Ec. 2.13})$$

En donde, $S_{(s)} = R_{(t)}$

Para el caso Sistema de alimentación de clínker, en la figura 4.3, se muestra el cálculo de la confiabilidad en paralelo:

$$R_{(t)} = 1 - [(1 - 0,95) * (1 - 0,81)] = \mathbf{0,99}$$

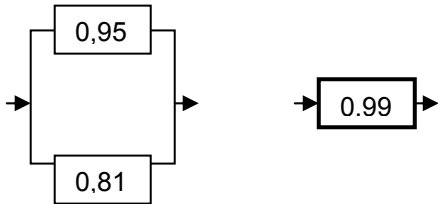
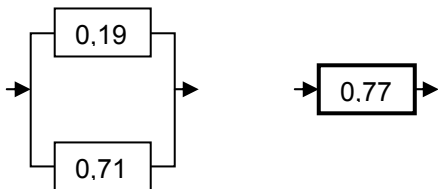


Fig. 4.5- Esquema de Confiabilidad del sub-sistemas en paralelo del Sistema de alimentación de clínker.

Para el caso Sistema de molienda de clínker, en la figura 4.4, se muestran los cálculos de la confiabilidad en paralelo:

$$R_{(t)} = 1 - [(1 - 0,19) * (1 - 0,71)] = \mathbf{0,77}$$



$$R_{(t)} = 1 - [(1 - 0,40) * (1 - 0,31)] = \mathbf{0,59}$$

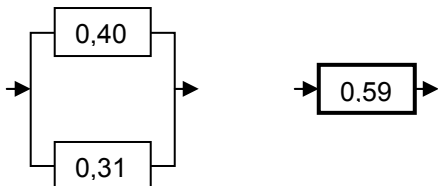


Fig. 4.6- Esquema de Confiabilidad de los sub-sistemas en paralelo del Sistema de Molienda de clínker Planta Guayana.

4.3.2 Representación de los Modelos equivalentes de Confiabilidad en Sistemas en series.

Después de calculado la Confiabilidad para el subsistema en paralelo del Sistema de alimentación de clínker, quedó de la siguiente manera:

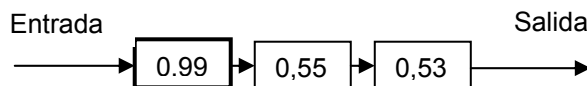


Fig. 4.7- Esquema nuevo de Confiabilidad del Sistema de alimentación de clínker de Planta Guayana.

Análogamente, para el subsistema en paralelo del Sistema de Molienda, quedó de la siguiente manera:

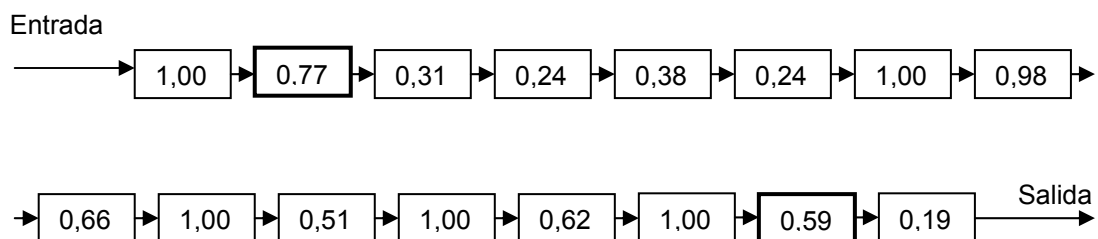


Fig. 4.8- Esquema nuevo de Confiabilidad del Sistema de Molienda de clínker Planta Guayana.

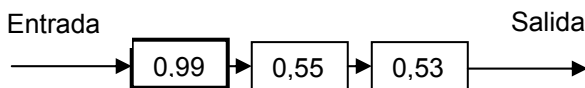
4.3.3.- Estimación de la Confiabilidad para la representación equivalente en serie del Sistema de Molienda de Cemento.

La confiabilidad de equipos en serie se calcula con la **Ec. 2.12**, como quedó establecido en el desarrollo de este trabajo:

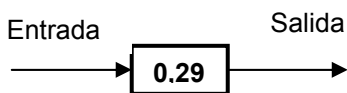
$$S_{(s)} = \prod_{i=1} S_{(i)} = S_A \times S_B \times \dots \times S_n \quad (\text{Ec. 2.12})$$

En donde, $S_{(s)} = R_{(t)}$

La Confiabilidad para el sistema de alimentación de clínker para la molienda de cemento es:



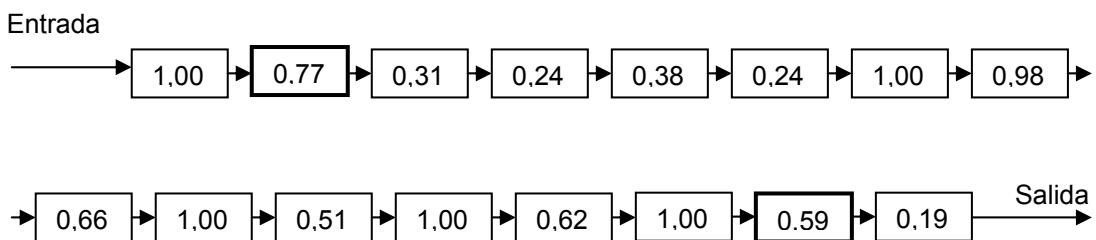
$$R_{(t)} = 0,99 \times 0,55 \times 0,53 = 0,29$$



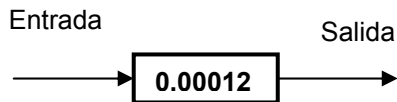
Para un tiempo $t = 720$ horas, horas calendario para un mes de 30 días, tenemos:

$$R_{(t)} = 29\%$$

La Confiabilidad para el sistema de molienda de clínker, tenemos:



$$R_{(t)} = 1,00 * 0,77 * 0,31 * 0,24 * 0,38 * 0,24 * 1,00 * 0,98 * 0,66 * 1,00 * 0,51 * 1,00 * 0,62 * 1,00 * 0,59 * 0,19 = \mathbf{0,00012}$$



Para un tiempo $t = 720$ horas, horas calendario para un mes de 30 días, tenemos:

$$R_{(t)} = 0,012 \%$$

4.4.- Cálculo del Tiempo “T” para alcanzar la Confiabilidad preestablecida por la Empresa.

La empresa tiene como objetivo preestablecido en los indicadores de Mantenimiento un cumplimiento mensual de 0,75 (75%) en la Confiabilidad del Molino; por lo tanto el equipo seleccionado para determinar el tiempo “t” es el Molino. Además de representar el equipo principal, tiene el mayor número de fallas y la más baja Confiabilidad de todos los equipos del Sistema.

De la ecuación para calcular la Confiabilidad $R_{(t)} = e^{-(t - \alpha) / \beta}$, tal como se presenta en el **Capítulo II, sección 2.6.2 (Ec. 2.5)**, despejamos “t” y tenemos:

$$t = \alpha + \beta [\ln(1/ R_{(t)})]^{1/\beta}$$

Para $\alpha = 0$; $\beta = 0,5$; $\alpha = 260$ y $R_{(t)} = 0,75$

$$t = 0 + 260 [\ln(1/ 0,75)]^{1/0,5}$$

$$t = \mathbf{21,52 \text{ horas.}}$$

4.5.- Análisis de los Resultados.

- ✓ Aplicando la Distribución de Weibull, modelo paramétrico, se pudo estimar la Confiabilidad individual de los equipos y de los sistemas para un resultado de **29,0%** en el sistema de alimentación de clínker y un **0,012%** para el sistema de molienda de clínker. Estos valores fueron obtenidos para un tiempo **t = 720 horas**, horas calendario para un mes de 30 días; lo que representa una baja Confiabilidad en el Sistema de molienda de cemento.
- ✓ De la tabla 4.22 se puede apreciar la baja confiabilidad del equipo principal (Molino) con **19%**, Dosificador de clínker #1 (**19%**), Separador dinámico (**24%**), Elevador salida Molino (**24%**), Banda alimentación (**31%**), Bomba Fuller (**31%**), Electrofiltro (**38%**), Elevador de Despacho (**40%**). Estos resultados individuales de cada equipo incidirán en la baja Confiabilidad del sistema de molienda de clínker (**0,012 %**).
- ✓ La baja Confiabilidad de los equipos mencionados anteriormente, aunado a esto, y la disposición en Serie de la gran cantidad de equipos; arrojó como resultado una Confiabilidad muy baja (**0,012 %**) del sistema de molienda de clínker; por debajo de la menor Confiabilidad de un equipo evaluado en un sistema en Serie correspondiente al Molino (**19%**) y el Dosificador de clínker #1 (**19 %**).
- ✓ De los resultados anteriores se puede apreciar la falta de Planificación, Programación y Ejecución de las actividades del Mantenimiento Preventivo.

4.6.- Propuesta de Mejoras a los Planes de Mantenimiento de la Planta.

En la actualidad todos los equipos de Planta tienen una frecuencia trimestral en los Planes y Programas de Mantenimiento Preventivo. Por lo tanto con esta frecuencia tan baja es recomendable:

- ❖ Aumentar las frecuencias de inspección, de frecuencias trimestrales a frecuencias semanales.
- ❖ Aumentar las frecuencias de toma de datos predictivos (vibraciones y tribología) de los equipos, de frecuencias trimestrales a frecuencias mensuales.
- ❖ Aumentar las frecuencias de rutas de lubricación, de frecuencias trimestrales a frecuencias mensuales.
- ❖ Las paradas programadas de intervenciones mecánicas, eléctricas e instrumentación del Molino deben realizarse cada 15 días, en vez de una (01) al mes.
- ❖ Se debe cumplir con el cronograma de paradas programadas ordinarias. Estas deben planificarse con los recursos necesarios y suficientes días de anticipación.
- ❖ Aplicar anualmente este Modelo probabilístico de la Distribución de Weibull, para estimar la Confiabilidad de los equipos y evaluar las condiciones para tomar las decisiones y correcciones que amerite el caso.
- ❖ Darle mayor prioridad al conjunto de equipos que tienen la tasa de fallas más altas de los sistemas y gestionar los recursos para implementar un Plan de Mantenimiento Preventivo que disminuya las fallas potenciales y elimine las fallas recurrentes.
- ❖ Reemplazar, a mediano plazo, los equipos de mayor obsolescencia y aquellos que ya cumplieron con su vida útil de trabajo.
- ❖ Hacerle seguimiento y control a los recursos (personal, repuestos, servicios) necesarios para el cumplimiento planificado de las actividades que se requieran ejecutar.

- ❖ Actualizar los Planes de Mantenimiento Preventivo que permita aumentar la frecuencia en la realización de los Mantenimientos Preventivos: Inspecciones, rutas de vibraciones, rutas de lubricación, intervenciones sistemáticas mecánicas, eléctricas e instrumentación.

A nivel del personal que labora en el Departamento de Mantenimiento y de las condiciones operacionales y funcionales de los equipos, debemos:

- ❖ Incrementar en 100% el número de personal de Mantenimiento que labora actualmente.
- ❖ Capacitar técnicamente al personal de Mantenimiento, debido a las carencias de conocimientos teóricos-prácticos de los equipos instalados en Planta.
- ❖ Realizar estudios técnicos para verificar y corroborar las condiciones funcionales y operacionales de los equipos de los Sistemas de alimentación y molienda de clínker para mejorar su rendimiento y confiabilidad.
- ❖ Realizar Volteo de la corona y cambio de piñones del sistema de transmisión de potencia del Molino para eliminar las altas vibraciones en los cojinetes y reductores, altas temperaturas de los cojinetes, etc.
- ❖ Reemplazar el Dosificador de Clínker #1 por componentes más robustos. Se debe automatizar esta Dosificadora con un sistema de calibración y pesaje de clínker.
- ❖ Reemplazo de la cadena porta-cangilones del Elevador de salida del Molino, por presentar excesivo desgaste en los pasadores de la cadena, fatiga de los eslabones, elongación máxima de la cadena porta-cangilones y cumplimiento de su vida útil de 20.000 horas.
- ❖ Sustitución de las Bombas Fuller L 110, ya discontinuadas por el fabricante; por Bombas Fuller M 250 de mayor desempeño y bajo mantenimiento.
- ❖ Reemplazo de dos (02) Compresores Fuller, instalados actualmente, por presentar excesivo desgastes en el diámetro interior de la camisa del Compresor.

- ❖ Modificación del Electrofiltro a sistema de mangas pulse jet, utilizando la carcasa y el ventilador de tiro del Electrofiltro.
- ❖ Sustitución del sistema doble cadena porta-cangilones del Elevador de Despacho por una cadena central de descarga por gravedad.
- ❖ Instalar un (01) Soplador, adicional (en espera), en el Aerodeslizador de despacho para entrar en funcionamiento en caso de fallar alguno de los cinco (05) instalados en funcionamiento simultáneos.
- ❖ Reemplazo del sistema de engrase de la corona del Molino por un equipo de menor consumo de aire comprimido (bomba de desplazamiento positivo) en reemplazo del sistema neumático.
- ❖ Instalar una bomba centrífuga, en paralelo, para la inyección de agua al Molino.
- ❖ Invertir en la compra de un Separador Dinámico de última generación y reemplazar el actual que se encuentra con muchos componentes desgastados y 40 años de servicios.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- ✚ Es factible estimar la Confiabilidad de los equipos y sistemas, aplicando el Modelo Paramétrico de la Distribución de Weibull, en los cuales se obtuvieron la Confiabilidad del sistema de alimentación de clínker (**29 %**) y la Confiabilidad del sistema de molienda de clínker (**0,012 %**) para un tiempo de **720 horas**, horas calendario para un mes de 30 días.
- ✚ La Confiabilidad del sistema para la molienda de clínker de Planta Guayana es demasiada baja (**0,012 %**). Esto es debido, a la baja confiabilidad de varios equipos del sistema y a la gran cantidad de equipos dispuestos en Serie.
- ✚ Se pudo determinar el tiempo “**t**”, el cual arrojó un valor de **21,52 horas**, para un valor de Confiabilidad preestablecido por la empresa de **75%** y teniendo como parámetros los calculados para estimar la Confiabilidad del Molino que arrojó como resultado un valor de 19% de Confiabilidad.
- ✚ Con el análisis de fallas, mediante el método estadístico de la Distribución de Weibull, se puede determinar la frecuencia de ejecución del Mantenimiento Preventivo.
- ✚ Con el método estadístico de la Distribución de Weibull se puede determinar en qué momento de la vida útil se encuentra un componente o equipo.

- ✚ Para lograr alcanzar la meta establecida de 75% de Confiabilidad se debe mejorar la Confiabilidad de los componentes de los equipos que participan en el sistema en Serie o intentar utilizar una configuración Paralela. Además, cumplir estrictamente con los programas semanales de Mantenimiento Preventivos, Paradas Programadas Ordinarias, la ejecución supervisada por especialistas en la materia y seguimiento y control de los repuestos.
- ✚ La improvisación del Mantenimiento, por estar supeditada a la producción, ha sido un factor determinante del no cumplimiento de los Planes y Programas de Mantenimiento Preventivo.
- ✚ Las bajas frecuencias (frecuencias trimestrales) y el no cumplimiento estricto de los planes de Mantenimiento Preventivo causaron deterioros considerables en los componentes y elementos de los equipos.
- ✚ La planificación y programación del Mantenimiento Preventivo no se ejecutan a su debido tiempo.
- ✚ Los Planes y Programas de Mantenimiento Preventivo estaban carentes de un estudio técnico y metodológico que estimara la Confiabilidad de los equipos, con la intención de actualizar los Planes y Programas de Mantenimiento Preventivo.
- ✚ La falta de decisiones e inversiones en pro de mejorar la situación de los equipos y sistemas condujo al estado deplorable de algunos equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- Monografía.com. (2008). (Página web en línea).
Disponible en: <http://www.monografias.com>
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica (5ta Edición)*. Caracas: Episteme
- Suárez, D. (2005). Apuntes de la asignatura: *Análisis de Confiabilidad*. Universidad de Oriente, Anzoátegui.
- Hidalgo, P. (2004). *Estimación de la Confiabilidad de la Línea 4 de Producción de una Planta Fabricadora de Tubo de Acero con Costura Helicoidal*. Tesis Especial de Grado. Universidad de Oriente, Anzoátegui.
- Aladon, L. (2001). *Introducción al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.
- Borean, E. (2000). Apuntes de la asignatura: *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y Riesgo mediante un modelo no-paramétrico*. Universidad de Oriente, Anzoátegui.
- Manual Operum Planta Cementera CEMEX (1998).
- Manual de Mantenimiento Clase Mundial elaborado por la Gerencia de sistema de Operación-Dirección Técnica de CEMEX-MÉXICO (1994).
- Duda, W. (1992). *Manual Tecnológico del Cemento (3ra Edición)*. México: Editores Técnicos Asociados S.A.
- BHA Guías de Referencias y Soluciones de Problemas. (2008). (Pág. Web en línea). Disponible en: <http://www.bhagroup.com>

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN FUNCIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE MOLIENDA DE CEMENTO DE LA EMPRESA CEMEX VENEZUELA PLANTA GUAYANA.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E- MAIL	
Aguilera M.,	CVLAC:	8.336.500
René M.	E MAIL:	rene.aguilera@cementosdevenezuela.com
	E MAIL:	aguilera.rene208@gmail.com
	CVLAC:	
	E MAIL:	
	E MAIL:	

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Clínker.
Cementos.
Modelos Paramétricos.
Distribución de Weibull.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Especialización en Ingeniería de Mantenimiento

RESUMEN (ABSTRACT):

Este estudio está enfocado a actualizar los Planes de Mantenimiento Preventivo de la empresa CEMEX VENEZUELA Planta Guayana en función de la estimación de la Confiabilidad mediante métodos estadísticos. La metodología utilizada son modelos paramétricos, específicamente la Distribución de Weibull, que permite determinar la confiabilidad individual de los equipos y sistemas en estudio. Con los resultados obtenidos se puede diagnosticar el comportamiento de los equipos del sistema de molienda de cemento de Planta Guayana y de esta manera tomar las acciones que puedan brindar un mayor y mejor mantenimiento preventivo a través de las actualizaciones de los planes y programas de mantenimiento.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Espinoza B., Henry J.	CVLAC:	4.363.950			
	E_MAIL	hjespinozab@gmail.com			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Díaz, Pedro	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	2.799.264			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Martínez, Carmen E.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	4.902.045			
	E_MAIL	carmenelen@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

AÑO 2009	MES 05	DÍA 28
-------------	-----------	-----------

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS: Actualización de Planes de Mantenimiento Preventivo.doc	APPLICATION/MSWORD

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K

L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Planta Guayana-Puerto Ordaz-Edo. Bolívar. (OPCIONAL)TEMPORAL: Un Año (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Especialista en Ingeniería de Mantenimiento

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Post-Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Coordinación de Postgrado

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado.

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

Ing. Aguilera M., René M.

AUTOR

Ing. Espinoza, Henry

TUTOR

Ing. Díaz, Pedro

JURADO

Ing. Martínez, Carmen

JURADO

Ing. Requena, Miriam

POR LA COMISION COORDINADORA DE POSTGRADO