

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA TORREFACTORA DE CAFÉ BAJO LA FILOSOFÍA DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Bastidas G., Jeison F.

Marino Q., Jorge L.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA TORREFACTORA DE CAFÉ BAJO LA FILOSOFÍA DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José Luis Perera.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Martín Padrón.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Bastidas G., Jeison F.

Marino Q., Jorge L.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

Caracas, Diciembre de 2003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Jeison Bastidas y Jorge Marino, titulado:

**“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA
PLANTA TORREFACTORA DE CAFÉ BAJO LA FILOSOFÍA DE
CONFIABILIDAD OPERACIONAL”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.



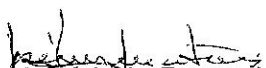
Prof. (Rafael De Andrea)

Jurado



Prof. (Alfonso Quiroga)

Jurado


Prof. (José Luis Perera)

Tutor Académico

Bastidas G., Jeison F.

Marino Q., Jorge L.

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA TORREFACTORA DE CAFÉ BAJO LA FILOSOFÍA DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

**Tutor Académico: Prof. José Luis Perera. Tutor Industrial: Ing. Martín
Padrón. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de
Mecánica. 2003. 123 páginas.**

Palabras Clave: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad.

RESUMEN

Con el objetivo de estudiar la posibilidad de disminuir la presencia de fallas, planificar una actividad de mantenimiento reducida e incrementar el tiempo entre dos paradas generales sucesivas en los equipos de la planta torrefactora Café Fama de América, se desarrolló un plan de mantenimiento donde se analizaron las distintas herramientas de confiabilidad operacional propuestas, según las condiciones tanto del proyecto como del lugar donde se realizó, empleándose el Análisis de Criticidad conjuntamente al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Una vez conformado un equipo multidisciplinario de trabajo, mediante el cual se describieron los sistemas de la planta, fue evaluada la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de planta. Luego se evaluó la criticidad a cada uno de los equipos. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de modos y efectos de fallas a aquellos que resultaron críticos, así como sus respectivas asignaciones de tareas de mantenimiento.

DEDICATORIA

A mi papá. No existe mejor padre y amigo que tú. Sé que has estado conmigo a cada instante y así será por siempre. Estoy eternamente agradecido con Dios por haberme permitido ser tu hijo.

A mi mamá, la mejor madre del mundo. No hay palabras que puedan definir lo maravillosa que eres como madre y amiga.

A Luis Miguel, el mejor hermano de todos, el mejor pana de todos. Eres mi ejemplo a seguir. ¡Qué orgulloso me siento de ti!

Los Amo muchísimo.

A mis abuelas, Lelo y Nonna. Las quiero muchísimo.

A mi familia, Puri, Nori, Betsy, Madrina Mary, Madrina Marlene, Cheo, Fátima, Tella, Padrino Dino, Tía Tula, Tía Giovanna, Tío Carmelo, Tania, Manuel, Tulita, Pedro, Chandro, Dinucho, Sina, Luis José, Liliana, Pina, Carmelito, Beto, Samir, Luis Augusto, Maridelia, Maricarmen, Aurisel, Jesús Alfonso, Manolito, Luis Eduardo, José Martín y demás primos y tíos.

Somos una gran familia

A todos mis amigos, Jeison, Ricardo, Rafaél, Freddy, Alexander, Manuel, Juan, Rachel, Sonimar, Clarita, Jennifer y todos los demás que no he nombrado pero los tengo presente.

JORGE

A Dios por nunca apartarse de mi, guiándome por el buen camino.

A mis Padres por enseñarme el camino y por apoyarme en todo momento.
Gracias a sus esfuerzos, dedicación y constancia he llegado a donde estoy.

Los quiero mucho

A Jenny por ser mi ejemplo, por orientarme con sus consejos y siempre estar
dispuesta a ayudarme. Gracias hermana te quiero mucho.

A Claudia, el día que te conocí supe que eras una gran mujer, hoy puedo
decir que eres única e insuperable. Te Amo.

A Santiago; siempre te sentí, dentro de mí sabía que eras tú, estoy muy feliz
de pronto tenerte, Papá y Mamá te esperan para darte mucho amor.

Jeison

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres y mi hermano, mis seres más queridos.

A nuestro tutor académico, Prof. Ing. José Luis Perera, por guiarnos en este proyecto y prestarnos su valiosa colaboración.

Al Gerente de Planta, Ing. Andrés Ferreira, por abrirnos las puertas y permitirnos desarrollar nuestro Trabajo Especial de Grado.

A nuestro tutor industrial, Ing. Martín Padrón, por su disposición, colaboración y por ser parte fundamental de este equipo de trabajo.

Al Ing. Rolando López, por su inmensurable dedicación para con nuestro Trabajo Especial de Grado y por sus sabios consejos.

A Guillermo Rodríguez, Jesús Bencomo, Ángel Arreaza, Néstor Sánchez, Luis Marino, Samuel Pauwels, Belkis Roa y Maricella Zambrano, por su eterna e inestimable colaboración en la planta.

A todo el personal que labora en C.A. Café Fama de América, por su valiosa y desinteresada ayuda.

A la gran institución la Universidad Central de Venezuela y muy en especial a todo el personal de mi escuela.

A mi amigo Jeison, qué bueno es tener de compañero de tesis a un pana como tú. Gracias por ser tan excelente amigo.

Jorge.

A Dios por ser mi gran compañero.

A nuestro tutor académico, Prof. Ing. José Luis Perera, por guiarnos en este proyecto y prestarnos su valiosa colaboración.

Al Gerente de Planta, Ing. Andrés Ferreira, por abrirnos las puertas y permitirnos desarrollar nuestro Trabajo Especial de Grado.

A nuestro tutor industrial, Ing. Martín Padrón, por su disposición, colaboración y por ser parte fundamental de este equipo de trabajo.

Al Ing. Rolando López, por su inmensurable dedicación para con nuestro Trabajo Especial de Grado y por sus sabios consejos.

A Guillermo Rodríguez, Jesús Bencomo, Ángel Arreaza, Néstor Sánchez, Luis Marino, Samuel Pauwels, Belkis Roa y Maricella Zambrano, por su eterna e inestimable colaboración en la planta.

A todo el personal que labora en C.A. Café Fama de América, por su valiosa y desinteresada ayuda.

A la gran institución la Universidad Central de Venezuela y muy en especial a todo el personal de mi escuela.

A Jorge que ha sido durante toda mi formación un gran apoyo y un gran amigo, gracias por estar a mi lado.

A la Sra Marbella por ser como una segunda madre para mi.

Jeison.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	I

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1- Planteamiento del Problema.....	4
1.2- Objetivos.....	4
1.2.1- Objetivo General.....	4
1.2.2- Objetivos Específicos.....	4
1.3- Alcances.....	5
1.4- Limitaciones.....	5

CAPÍTULO II. DEFINICIONES BÁSICAS DE MANTENIMIENTO

2.1- Mantenimiento.....	6
2.2- Clasificación del Mantenimiento.....	6
2.2.1- Mantenimiento Proactivo.....	6
2.2.2- Mantenimiento de Prolongación y Tribología.....	6
2.2.3- Mantenimiento Preventivo.....	6
2.2.4- Mantenimiento Predictivo.....	7
2.2.5- Mantenimiento Correctivo.....	7
2.3- Clasificación del Mantenimiento por Niveles.....	8
2.3.1- Mantenimiento de Primer Nivel.....	8
2.3.2- Mantenimiento de Segundo Nivel.....	8
2.3.3- Mantenimiento de Tercer Nivel.....	8
2.3.4- Mantenimiento de Cuarto Nivel.....	8
2.4- Período de Vida de un Equipo.....	8

CAPÍTULO III. INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

3.1- Confiabilidad.....	11
3.1.1- Parámetros de la Confiabilidad.....	11
3.1.2- Estimación de la Confiabilidad.....	11
3.2- Mantenibilidad.....	14
3.2.1- Parámetros de la Mantenibilidad.....	14
3.3- Distribuciones Probabilísticas.....	14



3.3.1- Modelaje de Confiabilidad y Mantenibilidad.....	17
3.4- Disponibilidad.....	18
3.4.1- Tipos de Disponibilidad.....	18
3.5- Distribución de Tiempos de Fallas en un Equipo.....	20
3.6- Efecto de la Confiabilidad y la Mantenibilidad sobre la Disponibilidad.	21

CAPÍTULO IV. HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

4.1- Confiabilidad Operacional.....	23
4.2- Empresa de Clase Mundial.....	24
4.3- Herramientas de Desarrollo Organizacional.....	24
4.4- Herramientas Técnicas.....	24
4.4.1- Análisis de Criticidad (AC).....	25
4.4.2- Análisis Causa – Raíz (ACR).....	25
4.4.3- Análisis de Costo Riesgo Beneficio (ACRB).....	25
4.4.4- Inspección Basada en Riesgos (IBR).....	25
4.4.5- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).....	26
4.5- Márgenes del Proyecto.....	26
4.6- Decisión.....	27

CAPÍTULO V. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

5.1- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).....	28
5.2- Fase Inicial del MCC.....	28
5.2.1- Conformación del Grupo Natural de Trabajo.....	28
5.3- Fase de Implantación del MCC.....	29
5.3.1- Selección del Sistema.....	29
5.3.2- Análisis de Criticidad (AC).....	31
5.3.3- Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).....	34
5.3.4- Consecuencias.....	36
5.3.5- Tareas de Mantenimiento.....	36
5.3.5.1- Redacción de las Tareas.....	42
5.3.5.2- Análisis de las Tareas.....	42
5.3.5.3- Planificación de los Programas de Mantenimiento.....	42
5.4- Beneficios del MCC.....	42

CAPÍTULO VI. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

6.1- Reseña Histórica.....	45
6.2- Ubicación.....	45
6.3- Productos.....	46
6.4- Objetivo de la Empresa.....	48
6.5- Valores.....	48
6.6- Visión.....	48



6.7- Misión.....	49
6.8- Calidad.....	49
6.8.1- Política de Calidad.....	49
6.9- Estructura Organizativa.....	50
6.10- Descripción del Proceso Productivo.....	51
6.10.1- Proceso de Recepción.....	51
6.10.2- Proceso de Torrefacción.....	51
6.10.3- Proceso de Empaque.....	57

CAPÍTULO VII. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA RELIABILITY ESTIMATION (RELEST)

7.1- Generalidades.....	58
7.2- Ingreso de Datos.....	59
7.3- Opciones de Modelo.....	59
7.4- Pruebas de Ajuste.....	59
7.5- Cálculos Ampliados.....	60

CAPÍTULO VIII. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

8.1- Sinopsis.....	61
8.2- Jerarquización de la Planta.....	61
8.3- Descripción de los Equipos.....	62
8.3.1- Sistema de Recepción.....	62
8.3.2- Sistema de Almacenamiento 100.....	62
8.3.3- Sistema de Torrefacción.....	63
8.3.4- Sistema de Transporte y Elevación.....	63
8.3.5- Sistema de Almacenamiento 200.....	64
8.3.6- Sistema de Elevación y Transporte.....	64
8.3.7- Sistema de Almacenamiento 300.....	64
8.3.8- Sistema de Molienda.....	64
8.3.9- Sistema de Transporte Mecánico – Neumático.....	65
8.3.10- Sistema de Almacenamiento 400.....	65
8.3.11- Sistema de Empaque.....	65
8.4- Evaluación de la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.....	69
8.5- Análisis de Criticidad (AC).....	102
8.6- Búsqueda de Información de AMEF.....	104
8.7- Registro de la Hoja de Información MCC.....	105
8.8- Registro de la Hoja de Decisión MCC.....	106

ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	109
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	116
GLOSARIO.....	117



LISTA DE ABREVIATURAS.....	120
ANEXOS.....	123



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva de la Bañera. Sistemas Electrónicos y Máquinas en General.....	9
Figura 2.2 Curva de la Bañera. Elementos Rotativos de Máquina.....	9
Figura 3.1 Gráfico de Distribución de Fallas.....	20
Figura 3.2 Gráfico de Confiabilidad vs. Mantenibilidad.....	21
Figura 4.1 Herramientas de Confiabilidad Operacional.....	23
Figura 5.1 Grupo Natural de Trabajo.....	29
Figura 5.2 Diagrama EPS.....	30
Figura 5.3 Patrón A.....	37
Figura 5.4 Patrón B.....	38
Figura 5.5 Patrón C.....	38
Figura 5.6 Patrón D.....	39
Figura 5.7 Patrón E.....	39
Figura 5.8 Patrón F.....	40
Figura 5.9 Intervalo PF.....	40
Figura 6.1 Área de Estudio.....	50
Figura 6.2 Mezcla y Limpieza del Café Verde.....	51
Figura 6.3 Transporte del Café Verde.....	52
Figura 6.4 Transporte del Café Verde.....	52
Figura 6.5 Tueste del Café Verde.....	53
Figura 6.6 Transporte del Café Tostado.....	53
Figura 6.7 Transporte del Café Tostado.....	54
Figura 6.8 Molienda del Café Tostado.....	54
Figura 6.9 Transporte del Café Molido.....	55
Figura 6.10 Transporte del Café Molido.....	56
Figura 6.11 Proceso de Empaque.....	57
Figura 7.1 Relest – Reliability Estimation.....	58
Figura 7.2 Ventana de Cálculos Ampliados.....	60
Figura 8.1 Confiabilidad Molino 1.....	70
Figura 8.2 Mantenibilidad Molino 1.....	70
Figura 8.3 Confiabilidad Molino 2.....	71
Figura 8.4 Mantenibilidad Molino 2.....	71
Figura 8.5 Confiabilidad Molino 3.....	72
Figura 8.6 Mantenibilidad Molino 3.....	72
Figura 8.7 Confiabilidad Molino 4.....	73
Figura 8.8 Mantenibilidad Molino 4.....	73
Figura 8.9 Confiabilidad Molino 5.....	74
Figura 8.10 Mantenibilidad Molino 5.....	74
Figura 8.11 Confiabilidad Molino 6.....	75
Figura 8.12 Mantenibilidad Molino 6.....	75
Figura 8.13 Confiabilidad Máquina Empacadora 11.....	76



Figura 8.14	Mantenibilidad Máquina Empacadora 11.....	76
Figura 8.15	Confiabilidad Máquina Empacadora 12.....	77
Figura 8.16	Mantenibilidad Máquina Empacadora 12.....	77
Figura 8.17	Confiabilidad Máquina Empacadora 13.....	78
Figura 8.18	Mantenibilidad Máquina Empacadora 13.....	78
Figura 8.19	Confiabilidad Máquina Empacadora 2.....	79
Figura 8.20	Mantenibilidad Máquina Empacadora 2.....	79
Figura 8.21	Confiabilidad Máquina Empacadora 3.....	80
Figura 8.22	Mantenibilidad Máquina Empacadora 3.....	80
Figura 8.23	Confiabilidad Máquina Empacadora 4.....	81
Figura 8.24	Mantenibilidad Máquina Empacadora 4.....	81
Figura 8.25	Confiabilidad Máquina Agrupadora 17.....	82
Figura 8.26	Mantenibilidad Máquina Agrupadora 17.....	82
Figura 8.27	Confiabilidad Máquina Empacadora 6.....	83
Figura 8.28	Mantenibilidad Máquina Empacadora 6.....	83
Figura 8.29	Confiabilidad Máquina Empacadora 7.....	84
Figura 8.30	Mantenibilidad Máquina Empacadora 7.....	84
Figura 8.31	Confiabilidad Máquina Agrupadora 15.....	85
Figura 8.32	Mantenibilidad Máquina Agrupadora 15.....	85
Figura 8.33	Confiabilidad Máquina Empacadora 8.....	86
Figura 8.34	Mantenibilidad Máquina Empacadora 8.....	86
Figura 8.35	Confiabilidad Máquina Empacadora 9.....	87
Figura 8.36	Mantenibilidad Máquina Empacadora 9.....	87
Figura 8.37	Confiabilidad Máquina Agrupadora 14.....	88
Figura 8.38	Mantenibilidad Máquina Agrupadora 14.....	88
Figura 8.39	Confiabilidad Máquina Empacadora 19.....	89
Figura 8.40	Mantenibilidad Máquina Empacadora 19.....	89
Figura 8.41	Confiabilidad Máquina Empacadora 18.....	90
Figura 8.42	Mantenibilidad Máquina Empacadora 18.....	90
Figura 8.43	Confiabilidad Máquina Empacadora 1A.....	91
Figura 8.44	Mantenibilidad Máquina Empacadora 1A.....	91
Figura 8.45	Confiabilidad Máquina Empacadora 1B.....	92
Figura 8.46	Mantenibilidad Máquina Empacadora 1B.....	92
Figura 8.47	Confiabilidad Máquina Agrupadora 1C.....	93
Figura 8.48	Mantenibilidad Máquina Agrupadora 1C.....	93
Figura 8.49	Confiabilidad Tostadora 1.....	94
Figura 8.50	Mantenibilidad Tostadora 1.....	94
Figura 8.51	Confiabilidad Tostadora 2.....	95
Figura 8.52	Mantenibilidad Tostadora 2.....	95
Figura 8.53	Confiabilidad Tostadora 3.....	96
Figura 8.54	Mantenibilidad Tostadora 3.....	96
Figura 8.55	Confiabilidad Tostadora 4.....	97
Figura 8.56	Mantenibilidad Tostadora 4.....	97
Figura 8.57	Confiabilidad Tostadora 5.....	98
Figura 8.58	Hoja de Información MCC.....	105



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 8.61 Hoja de Decisión.....	106
Figura 8.60 Árbol de Decisión.....	108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1	Criticidad Total.....	33
Tabla 8.1	Sistema de Recepción.....	62
Tabla 8.2	Sistema de Almacenamiento 100.....	62
Tabla 8.3	Sistema de Torrefacción.....	63
Tabla 8.4	Sistema de Transporte y Elevación.....	63
Tabla 8.5	Sistema de Almacenamiento 200.....	64
Tabla 8.6	Sistema de Elevación y Transporte.....	64
Tabla 8.7	Sistema de Almacenamiento 300	64
Tabla 8.8	Sistema de Molienda.....	64
Tabla 8.9	Sistema de Transporte Mecánico – Neumático.....	65
Tabla 8.10	Sistema de Almacenamiento 400.....	65
Tabla 8.11	Sistema de Empaque Línea 1.....	65
Tabla 8.12	Sistema de Empaque Línea 2.....	66
Tabla 8.13	Sistema de Empaque Línea 4.....	66
Tabla 8.14	Sistema de Empaque Línea 5.....	66
Tabla 8.15	Sistema de Empaque Línea 6.....	67
Tabla 8.16	Sistema de Empaque Línea 7.....	67
Tabla 8.17	Sistema de Empaque Línea 8.....	67
Tabla 8.18	Sistema de Empaque Línea 9.....	67
Tabla 8.19	Sistema de Empaque Videojet.....	68
Tabla 8.20	Sistema de Empaque Tornillos Sin Fin y Tolvas.....	68
Tabla 8.21	Disponibilidad Sistema de Molienda.....	99
Tabla 8.22	Disponibilidad Línea 1.....	99
Tabla 8.23	Disponibilidad Línea 2.....	100
Tabla 8.24	Disponibilidad Línea 4.....	100
Tabla 8.25	Disponibilidad Línea 5.....	100
Tabla 8.26	Disponibilidad Línea 7.....	100
Tabla 8.27	Disponibilidad Línea 8.....	100
Tabla 8.28	Disponibilidad Línea 9.....	101
Tabla 8.29	Disponibilidad Sistema de Torrefacción.....	101



INTRODUCCIÓN

La industria del café en Venezuela, en los últimos años, ha experimentado un incremento en los niveles de producción, como resultado de la creciente demanda hacia sus productos. Mantener los equipos de planta en las mejores condiciones posibles fortalece dicho incremento, de manera que sean capaces de responder a tales requerimientos, considerando la seguridad y protección al ambiente.

En Venezuela, desde hace aproximadamente una década, grandes industrias han estado aplicando herramientas de confiabilidad operacional. Sin embargo, dicha filosofía es todavía nueva para la mediana industria nacional, la cual apenas comienza a disfrutar de sus bondades.

C. A. Café Fama de América, empresa venezolana torrefactora de café con más de 100 años de tradición, no se halla exenta de tal situación. Por ello está invirtiendo tiempo y recursos en el desarrollo de nuevas estrategias para disminuir la presencia de fallas en sus equipos de producción, planificar una actividad de mantenimiento reducida y aumentar el tiempo entre dos paradas generales sucesivas, con la finalidad de permanecer competitiva en el mercado.

Uno de los procedimientos a seguir para obtener lo descrito anteriormente, es destinar una política de mantenimiento que vierta sus actividades en los equipos críticos, que son las piedras angulares en el proceso productivo de la planta torrefactora Café Fama de América. La estrategia consiste en desarrollar el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) conjuntamente al Análisis de Criticidad (AC), herramientas técnicas capaces de generar tales beneficios.



Las actividades efectuadas para el desarrollo del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) son: la jerarquización de la planta; descripción de los equipos; evaluación de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad; Análisis de Criticidad (AC); análisis de modos y efectos de falla y, finalmente, asignaciones de tareas de mantenimiento.

Un aspecto esencial en el desarrollo de este proyecto lo constituye la incorporación de un programa computacional dirigido al cálculo de la confiabilidad y mantenibilidad. En consecuencia se ha aplicado el programa computacional Reliability Estimation (Relest), el cual proporciona un modelo de distribución probabilística para datos de falla, para luego determinar la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos en estudio. La disponibilidad se evalúa mediante los datos de fallas de los equipos.

El contenido de este Trabajo Especial de Grado se constituye de la siguiente manera: en el *Capítulo I* se expone el planteamiento del problema, así como los objetivos, alcances y limitaciones del proyecto. En el *Capítulo II* se presentan conceptos básicos y clasificaciones del mantenimiento. En el *Capítulo III* se muestran los indicadores de gestión de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y distribuciones probabilísticas. Las herramientas de confiabilidad operacional (de desarrollo organizacional y técnicas) se incluyen en el *Capítulo IV*. Las herramientas seleccionadas son estudiadas con mayor profundidad en el *Capítulo V*. El *Capítulo VI* reseña una breve descripción de la empresa y explica el proceso productivo que allí se lleva a cabo. El funcionamiento del programa computacional (Relest) se representa en el *Capítulo VII*. Finalmente, el *Capítulo VIII* exhibe la metodología empleada, el desarrollo del plan de mantenimiento y los resultados de las estimaciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad hechas a los equipos de la planta.



INTRODUCCIÓN

Los anexos, a manera de complementar la información contenida en este trabajo, exponen: diagramas de procesos de los equipos estudiados en la planta, análisis de criticidad en dichos equipos, planillas de análisis de modos y efectos de falla (hojas de información) y tareas de mantenimiento (hojas de decisión) para los equipos críticos.



CAPÍTULO I

Planteamiento del Problema.

1.1- Planteamiento del Problema.

Actualmente, C.A. Café Fama de América en su planta torrefactora ubicada en la zona industrial de La Yaguara, no cumple con las necesidades de mantenimiento demandadas por sus equipos, debido a que al no aplicarlo en el tiempo requerido, estas actividades de mantenimiento se van transformando en acciones correctivas no planificadas. Esto se traduce en un incremento en el número de fallas en la mayoría de estos equipos, repercutiendo en los niveles de producción de la planta y generando uno de los desperdicios más indeseables en las labores productivas: horas extras. Por ello se hace necesario desarrollar un plan de mantenimiento bajo la filosofía de confiabilidad operacional, abarcando herramientas tales como Análisis de Criticidad y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, a través del cual se analizan los modos y efectos de fallas de los equipos críticos, facilitando la disminución de fallas en los mismos (producto de una actividad orientada hacia los equipos con más necesidad de mantenimiento).

1.2- Objetivos.

1.2.1- *Objetivo General.*

Desarrollar un plan de mantenimiento en la planta torrefactora Café Fama de América bajo la filosofía de confiabilidad operacional.

1.2.2- *Objetivos Específicos.*

- Estudiar la posibilidad de disminuir la presencia de fallas múltiples.
- Planificar una actividad de mantenimiento reducida.



- Plantear la posibilidad de aumentar el tiempo entre dos paradas generales sucesivas y una planificación de trabajo que conducen a tiempos fuera de servicio, por fallas, más cortas.
- Analizar los modos y efectos de falla para los equipos críticos del sistema.

1.3- Alcances.

- Descripción de la planta y de los equipos.
- Obtención de data de los equipos.
- Cálculo de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos en estudio.
- Determinar los equipos críticos que ocasionen peligro en el medio ambiente, en la seguridad de los trabajadores y en la producción.
- Definir las funciones de los equipos críticos, así como sus modos y efectos de falla.
- El desarrollo de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para los equipos críticos que operan en la planta.

1.4- Limitaciones.

- Los datos históricos de fallas de los equipos corresponden a los años 2001 y 2002, lo cual puede conducir a resultados que difieran un poco respecto a si se recabasen datos de falla más actualizados.
- El desarrollo de este Trabajo Especial de Grado no incluye su aplicación, razón por la cual no se visualizan completamente todos los beneficios de las herramientas utilizadas.



CAPÍTULO II

Definiciones Básicas de Mantenimiento.

2.1- Mantenimiento.

El mantenimiento es el conjunto de actividades y estrategias que permiten conservar y/o restablecer un sistema productivo a un estado específico, de manera tal que sea capaz de cumplir con las funciones requeridas a un costo competitivo.

2.2- Clasificación del Mantenimiento.

2.2.1- *Mantenimiento Proactivo.*

Es toda actividad de mantenimiento que se realiza para detectar o evitar la ocurrencia de fallas.

2.2.2- *Mantenimiento de Prolongación y Tribología.*

Las actividades de este tipo están enfocadas en emplear una técnica que conjuga toda una serie de elementos tan importantes como la fricción, naturaleza de los materiales, rugosidad, desgaste, lubricación, energía y medio ambiente, con el objetivo de prolongar la vida útil del equipo.

2.2.3- *Mantenimiento Preventivo.*

Es una actividad planificada, ejecutada reemplazando o reconstruyendo componentes de equipos de una manera sistemática antes de que ocurra una falla, siendo su objetivo mantener el equipo en condiciones operativas, a través de acciones oportunas. El mantenimiento preventivo se divide en:



- *Mantenimiento Preventivo Basado en Tiempo:* se realiza a intervalos fijos de tiempo o de horas de operación, independientemente del estado del equipo en ese momento.
- *Mantenimiento Preventivo Basado en Condición:* se realiza dependiendo de la condición del equipo o de sus componentes. Para llevarla a cabo se requiere del contacto directo del operario con la maquina.

2.2.4- Mantenimiento Predictivo.

Esta actividad tiene como finalidad la detección de fallas potenciales, mediante señales tempranas de fallas identificadas del equipo. Este mantenimiento es el más seguro para minimizar la ocurrencia de fallas y sus efectos. Para realizarlo debe contarse con personal altamente calificado y se requiere de inversiones en equipo de monitoreo o instalaciones de instrumentos para medir los parámetros. Entre las técnicas predictivas más utilizadas tenemos: alineación óptica láser; análisis de aceite; detección infrarroja de puntos calientes; mediciones de temperatura, presión, volumen... y medición de vibraciones.

2.2.5- Mantenimiento Correctivo.

Son reparaciones realizadas luego que se ha presentado una falla total o catastrófica, con la finalidad de llevar al equipo a sus estándares de funcionamiento normales. El mantenimiento correctivo se divide en:

- *Mantenimiento Correctivo Planificado:* son acciones programadas y planificadas esperando que la falla de un equipo ocurra.
- *Mantenimiento Correctivo No Planificado:* son acciones de mantenimiento que se realizan luego de ocurrir una falla imprevista en un equipo.



2.3- Clasificación del Mantenimiento por Niveles.

El mantenimiento también se suele clasificar por niveles de acuerdo a la forma en que la organización actúe para dar mantenimiento a los sistemas de equipos y planta física bajo su responsabilidad:

2.3.1- *Mantenimiento de Primer Nivel.*

Corresponde a actividades que se realizan sobre los equipos en su ubicación productiva. Las operaciones suelen ser intervenciones sencillas de bajo nivel de experticia.

2.3.2- *Mantenimiento de Segundo Nivel.*

Se refiere a las operaciones de mantenimiento correctivo, ejecutadas sobre el equipo en su ubicación productiva, por personal de mantenimiento.

2.3.3- *Mantenimiento de Tercer Nivel.*

Son los trabajos de mantenimiento preventivo en sitio realizados por personal de mantenimiento.

2.3.4- *Mantenimiento de Cuarto Nivel.*

Es un tipo de mantenimiento correctivo realizados en taller, sobre equipos retirados de producción en operaciones de mantenimiento de segundo nivel.

2.4- Período de Vida de un Equipo.

El ciclo de vida de un equipo o sistema de equipos, desde su puesta en servicio hasta su eliminación, atraviesa por tres etapas bien delimitadas, de acuerdo a la tasa temporal de fallas que presenta. Estos tres ciclos de vida característica se pueden observar en *la curva de la bañera* (ver figura 2.1 y 2.2), los cuales son:

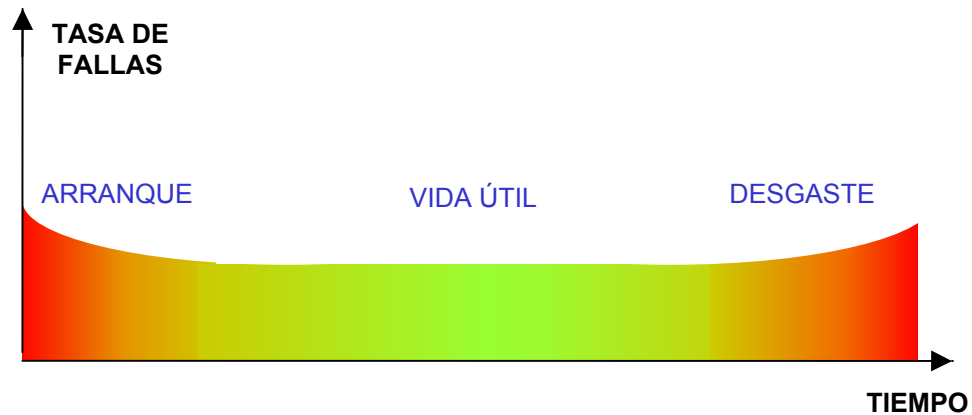


Figura 2.1 Curva de la Bañera. Sistemas Electrónicos y Máquinas en General

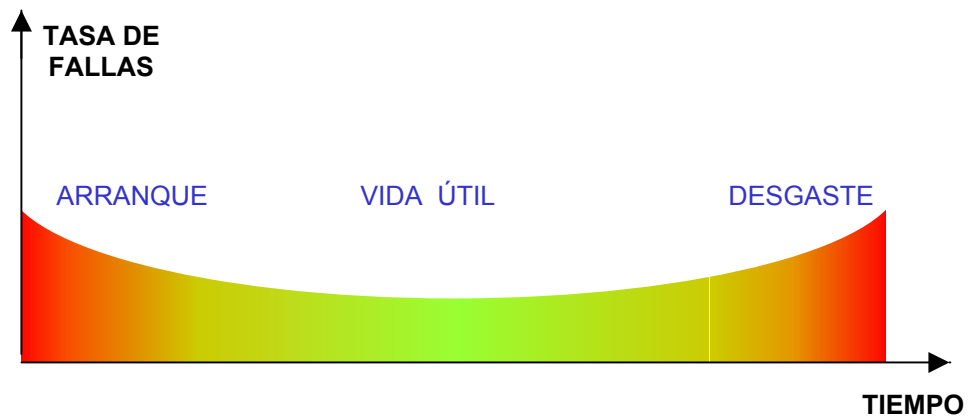


Figura 2.2 Curva de la Bañera. Elementos Rotativos de Máquina

El **período de arranque o mortalidad infantil**: este período está caracterizado por un descenso en la tasa de fallas desde un valor inicial hasta su correspondiente valor promedio mínimo, para los equipos electrónicos y máquinas en general, por lo que su confiabilidad es baja. Por el contrario en los elementos rotativos no está delimitado el valor mínimo, ya que este se encuentra en el período de vida útil. Debido a que la naturaleza de los problemas que presentan los equipos en este período tiene que ver con defectos de fabricación y/o ensamblaje, errores humanos; su corrección



y ajuste suelen estar cubiertos por una póliza o contrato de garantía otorgada por el fabricante o el vendedor al comprador.

El **período de vida útil**: se caracteriza por presentar una tasa de fallas constante, para los equipos electrónicos y máquinas en general, correspondiente al valor promedio mínimo que se alcanza al final del período de arranque. En cambio para los elementos rotativos de máquinas la tasa de fallas desciende hasta alcanzar su valor mínimo para luego ascender progresivamente. En los elementos de todos equipos, las fallas son debido a acumulaciones de esfuerzos por encima de la resistencia de diseño de los componentes. Durante el período de vida útil (el cual abarca la mayor parte de vida del equipo), el equipo posee máxima disponibilidad.

El **período de desgaste o envejecimiento rápido**: se inicia con un aumento progresivo de la tasa de fallas, que suele ser consecuencia de fatiga, desgaste mecánico, corrosión y erosión de los componentes fundamentales. Durante el período de envejecimiento rápido, el equipo o sistema de equipos puede ser sometido a una operación de reconstrucción que en algunos casos permite extender el período de vida útil aumentando la rentabilidad de la inversión.

A partir de las figuras anteriormente descritas, se derivan otras curvas ó patrones (Ver Capítulo V, Tareas de Mantenimiento) que pueden guiar la asignación de tareas de mantenimiento.



CAPÍTULO III

Indicadores de Gestión de Mantenimiento.

3.1- Confiabilidad ($R(t)$).

Es la probabilidad de que un equipo o sistema de equipos no falle en un momento dado bajo condiciones establecidas. La confiabilidad de un equipo o sistema de equipo esta determinado por el diseño y la construcción. La confiabilidad operativa depende adicionalmente de las condiciones de operación y de la calidad del mantenimiento.

3.1.1- *Parámetros de la Confiabilidad.*

Los parámetros característicos representativos de la confiabilidad son la tasa de fallas y el tiempo medio entre fallas (TMO), este último se puede expresar analíticamente en la forma siguiente (ecuación 3.1):

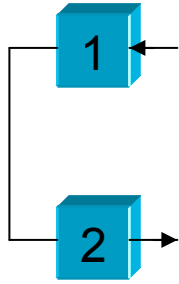
$$TMO = \frac{\text{Tiempo Total en Operación}}{\text{Número Total de Fallas}} \quad \text{.....(Ec. 3.1)}$$

La confiabilidad de un equipo depende de la confiabilidad de sus componentes y de la forma en que están integrados entre sí. La confiabilidad es por lo tanto un parámetro que depende exclusivamente del diseño, y su modificación implica cambiarlo.

3.1.2- *Estimación de la Confiabilidad.*

Cuando se habla de confiabilidad de sistemas se refiere a un grupo de equipos dispuestos de una forma en particular. Este índice será mayor o menor, dependiendo de las funciones que cumplan los equipos y de la manera en que estén instalados. Por lo general encontramos dos tipos de configuración:

- **Configuración en Serie:** representa la configuración más sencilla,

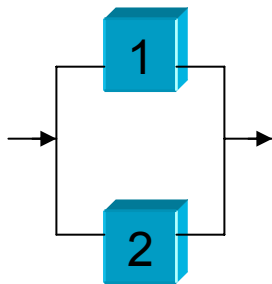


teniendo como característica que la pérdida de la función de un equipo implica la pérdida de la función del sistema. Generalmente este tipo de arreglo origina bajos niveles de confiabilidad, en comparación con otros. Si la confiabilidad de los equipos no es dependiente, es decir, la falla de

uno de los equipos no influye sobre la confiabilidad de otro equipo, entonces la confiabilidad del sistema viene dada como el producto de las confiabilidades de los equipos (ecuación 3.2):

$$R(t) = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \quad \dots\dots\dots(\text{Ec. 3.2})$$

- **Configuración en Paralelo (Todos los Equipos Activos):** esta

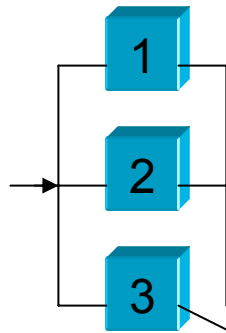


representa una configuración muy común dentro de la industria. Su característica principal es que aún cuando un componente presente una pérdida total de la función, el sistema puede seguir funcionando aunque por debajo de las exigencias del contexto operacional.

Generalmente este tipo de arreglo origina niveles de confiabilidad medios, en comparación con otros. La confiabilidad viene dada por la siguiente expresión (ecuación 3.3):

$$R(t) = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad \dots\dots\dots(\text{Ec. 3.3})$$

• **Configuración en Paralelo (Un Equipo en Standby):** esta



configuración se presenta cuando el contexto operacional exige una mayor confiabilidad que lo que pudiese ofrecer un arreglo normal.

La presencia de un componente en standby disminuye la probabilidad de pérdida total de la función del sistema, debido a que al fallar uno de ellos, el componente en standby actuará en su lugar. Para definir la expresión matemática que define dicha configuración, se consideró que el sistema actuará como *perfect switching*, es decir, el tiempo de respuesta del componente en standby es despreciable, en el momento de falla. La expresión (ecuación 3.4) viene dada por:

$$R(t) = e^{-\lambda \times t} \times \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda \times t)^i}{i!} \quad \text{.....(Ec. 3.4)}$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \frac{\text{Nº de Fallas } i}{t}}{n} \quad \text{.....(Ec. 3.4.1)}$$

Donde:

λ : es la frecuencia de fallas promedio de las frecuencias de fallas parciales de los equipos del sistema.

n : representa el número de equipos del sistema.

t : tiempo a evaluar.



3.2- Mantenibilidad ($M(t)$).

Se define mantenibilidad de un equipo o sistema de equipos como la probabilidad de que, en caso de ocurrencia de falla, el equipo pueda ser restaurado a condición operativa en un intervalo de tiempo dado.

3.2.1- *Parámetros de la Mantenibilidad.*

El parámetro característico de la mantenibilidad es el tiempo medio para reparar (TMPR), y se puede expresar analíticamente en la forma siguiente, según la ecuación 3.5:

$$TMPR = \frac{\text{Tiempo Total de Reparaciones}}{\text{Número Total de Reparaciones}} \quad \dots\dots\dots(\text{Ec. 3.5})$$

La mantenibilidad es un parámetro mucho más complejo que la confiabilidad, depende de la confiabilidad y de otros parámetros adicionales, relacionados tanto con el diseño del equipo como con la organización y ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad depende de casi todos los componentes del tiempo fuera de servicio.

3.3- Distribuciones Probabilísticas.

Antes de enfocarnos en las distribuciones probabilísticas, se deben definir los siguientes términos:

- Variable Aleatoria: es aquella que obtiene cada uno de sus valores posibles con una probabilidad definida. Éstas variables pueden ser discretas o continuas:
 - Variable Aleatoria Discreta: posee un número finito de posibles valores; su análisis emplea las matemáticas elementales.
 - Variable Aleatoria Continua: no posee un valor particular; su análisis emplea el cálculo.

Las variables aleatorias poseen una función distribución de probabilidad de ocurrencia del evento ($F_{(t)}$), provenientes de integrar una función distribución de densidad ($f_{(t)}$), las cuales se describen a continuación:

- Distribución **Exponencial**: es la forma más general con la cual se modela la confiabilidad y la mantenibilidad. Ésta se ajusta mejor al comportamiento real de un equipo de instrumentación (no exclusivamente), debido a que el mismo presenta características muy análogas a las nominales. Necesita de un parámetro de falla (λ) y una variable de tiempo (t) para su estudio. La función densidad (ecuación 3.6) que define a la distribución exponencial es la siguiente:

$$f(t) = \lambda \times e^{-\lambda \times t} \quad \text{.....(Ec. 3.6)}$$

- Distribución **Weibull**: es una de las funciones probabilísticas más empleadas para la aproximación de eventos relacionados al estudio de períodos de vida (nacimiento, desarrollo y muerte). Se ajusta mejor al comportamiento real de un equipo rotativo (no exclusivamente). Requiere de un parámetro de forma (γ) y un parámetro de escala (θ), además de la variable tiempo (t), para su estudio. La expresión matemática (ecuación 3.7) que describe dicha distribución es la siguiente:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\gamma-1} \times e^{-\left(\frac{t}{\theta} \right)^{\gamma}} \quad \text{.....(Ec. 3.7)}$$

• Distribución **Log-Normal**: esta distribución se adapta mejor al comportamiento real de un equipo estático (no exclusivamente). Esto se debe a que su decrecimiento es lento, tal como se suele presentar en el proceso de deterioro de este tipo de equipos. Para su estudio, necesita de un parámetro de desviación estándar de los datos (σ), un parámetro del promedio de los datos (μ) y una variable de tiempo (t). La expresión matemática (ecuación 3.8) que representa dicha distribución es:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \times t \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad \dots(\text{Ec. 3.8})$$

• Distribución **Gamma**: es una función probabilística empleada para la aproximación de eventos relacionados al estudio de períodos de vida (nacimiento, desarrollo y muerte). Al igual que la distribución Weibull, esta se ajusta al comportamiento real de un equipo rotativo (no exclusivamente). Para su evaluación requiere de un parámetro de forma (γ), un parámetro de escala (θ), además de la variable de tiempo (t). La función densidad (ecuación 3.9) que determina a la distribución gamma es:

$$f(t) = \frac{t^{\gamma-1}}{\theta^{\gamma} \times \Gamma(\gamma)} \times e^{-\frac{t}{\theta}} \quad \dots\dots\dots(\text{Ec. 3.9})$$

• Distribución **Lineal-Exponencial**: es una distribución probabilística poco empleada al momento de determinar la confiabilidad y la mantenibilidad, ya que no es la que mejor se adapta al comportamiento real de un equipo de instrumentación. Requiere de un parámetro de falla (λ), un parámetro de forma (γ) y una variable de tiempo (t) para su estudio. La función densidad (ecuación 3.10) que define a la distribución lineal-exponencial es la siguiente:

$$f(t) = (\lambda + \gamma t) \times e^{-\left(\lambda t + \frac{\gamma t^2}{2}\right)} \quad \text{.....(Ec. 3.10)}$$

3.3.1- Modelaje de Confiabilidad.

En las distribuciones probabilísticas se cumple que (ecuación 3.11) :

$$F(t) = \int f(t) \quad \text{.....(Ec. 3.11)}$$

Entonces, para la **Confiabilidad** (ecuación 3.12), considerando los datos de falla como Tiempos Medio Entre Falla:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{.....(Ec. 3.12)}$$



3.4- Disponibilidad.

Este índice da una medida de la capacidad del equipo para cumplir con la función para la cual está destinado, en un tiempo dado. La disponibilidad de un equipo existente sólo puede aumentarse disminuyendo el tiempo fuera de servicio.

3.4.1- Tipos de Disponibilidad.

La disponibilidad de un equipo o sistema de equipos puede definirse en distintas formas de acuerdo al resultado que se desee mostrar, las más comunes son:

- **Disponibilidad Genérica (D):** se define como el cociente que se obtiene al dividir el tiempo medio entre fallas (TMEF) entre la sumatoria del tiempo medio entre fallas (TMEF) más el tiempo medio fuera de servicio (TMFS), según la ecuación 3.14:

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMFS} \quad \text{.....(Ec. 3.13)}$$

Proporciona el valor más conservador de disponibilidad, es ideal para la evaluación general de un sistema productivo.

- **Disponibilidad Intrínseca (Di):** se define como el cociente que se obtiene al dividir el tiempo medio entre fallas (TMEF) entre la sumatoria del tiempo medio entre fallas (TMEF) más el tiempo medio para reparar (TMPR), según la ecuación 3.15:

$$Di = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad \text{.....(Ec. 3.14)}$$



Evalúa la disponibilidad del equipo únicamente, el único factor ajeno al equipo que se toma en cuenta es la capacidad y organización del personal que repara.

• **Disponibilidad Alcanzada (*Da*):** se define como el cociente que se obtiene al dividir el tiempo medio entre mantenimientos (TMEM), entre la sumatoria del tiempo medio entre mantenimientos (TMEM) más el tiempo medio para mantener (TPMP), (preventivo + correctivo), según la ecuación 3.16:

$$Da = \frac{TMEM}{TMEM + TPMP} \quad \text{.....(Ec. 3.15)}$$

Evalúa la disponibilidad tomando en cuenta los factores propios de la organización de mantenimiento. Es la definición que más conviene a la organización de mantenimiento (reporta el valor más alto).

• **Disponibilidad Operacional (*Do*):** se define como el cociente que se obtiene al dividir el tiempo medio entre mantenimientos (TMEM), entre la sumatoria del tiempo medio entre mantenimientos (TMEM) mas el tiempo medio fuera de servicio (TMFS), (incluye demoras administrativas), según la ecuación 3.17:

$$Do = \frac{TMEM}{TMEM + TMFS} \quad \text{.....(Ec. 3.16)}$$

Evalúa la disponibilidad sin tener en cuenta los tiempos debidos a espera operacional.



3.5- Distribución de Tiempos de Fallas en un Equipo.

En el siguiente gráfico se observa cómo es el comportamiento de los tiempos de fallas en un equipo a través del tiempo, alternando de un estado operativo a un estado no operativo.

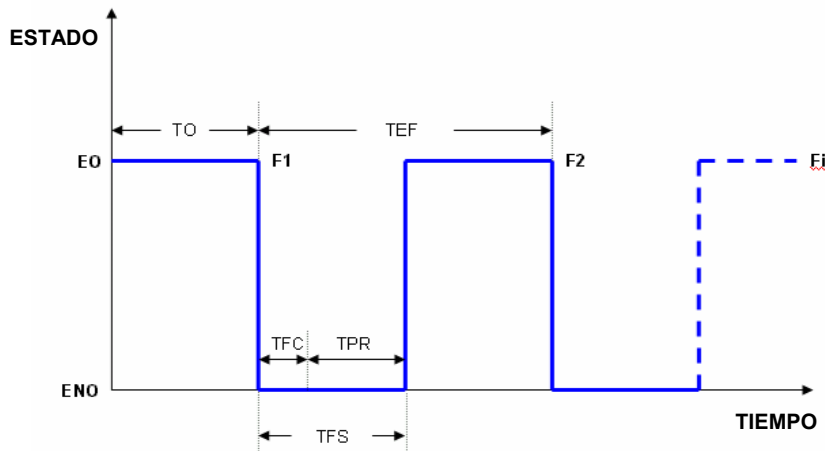


Figura 3.1 Gráfico de Distribución de Fallas

Donde:

- TO: tiempo operativo.
- TEF: tiempo entre fallas.
- TFS: tiempo fuera de servicio.
- TPR: tiempo para reparar.
- TFC: tiempo fuera de control.
- EO: estado operativo.
- ENO: estado no operativo.
- Fi: falla iésima.



3.6- Efecto de la Confiabilidad y la Mantenibilidad Sobre la Disponibilidad.

La confiabilidad se encuentra relacionada con el tiempo medio operativo (TMO); así que si se desea incrementar la confiabilidad, se debe incrementar también el tiempo promedio operativo.

La mantenibilidad se halla relacionada con el tiempo medio para reparar (TMPR); así que si se desea aumentar la mantenibilidad, se debe disminuir el tiempo promedio para reparar.

En el gráfico que se muestra a continuación, se presenta el efecto combinado de la confiabilidad y la mantenibilidad sobre la disponibilidad.

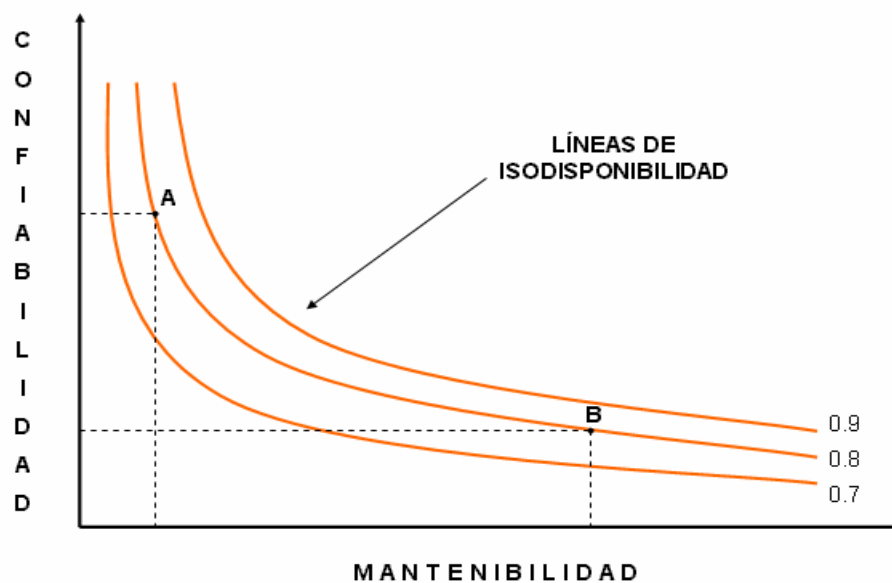


Figura 3.2 Gráfico de Confiabilidad vs. Mantenibilidad

Si se desea alcanzar un valor de disponibilidad en específico, a partir de actividades orientadas a mejorar la confiabilidad o la mantenibilidad, del gráfico anterior se analiza lo siguiente:

- Al obtener una baja mantenibilidad (alto TMPR), es necesario aumentar la confiabilidad (aumentar el TMO), para conseguir el valor de



disponibilidad deseado (para efectos del gráfico, el valor de la disponibilidad es 0.8). Tal resultado se observa en el punto A.

- Al obtener una baja confiabilidad (bajo TMO), es indispensable incrementar la mantenibilidad (disminuir el TMPR), para lograr el valor de disponibilidad deseado (para efectos del gráfico, el valor de la disponibilidad es 0.8). Tal resultado se observa en el punto B.

De lo expuesto anteriormente se concluye que existe un balance óptimo entre confiabilidad y mantenibilidad, para una misma disponibilidad.



CAPÍTULO IV

Herramientas de Confiabilidad Operacional.

4.1- Confiabilidad Operacional.

Es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. La Confiabilidad Operacional involucra los siguientes cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos.

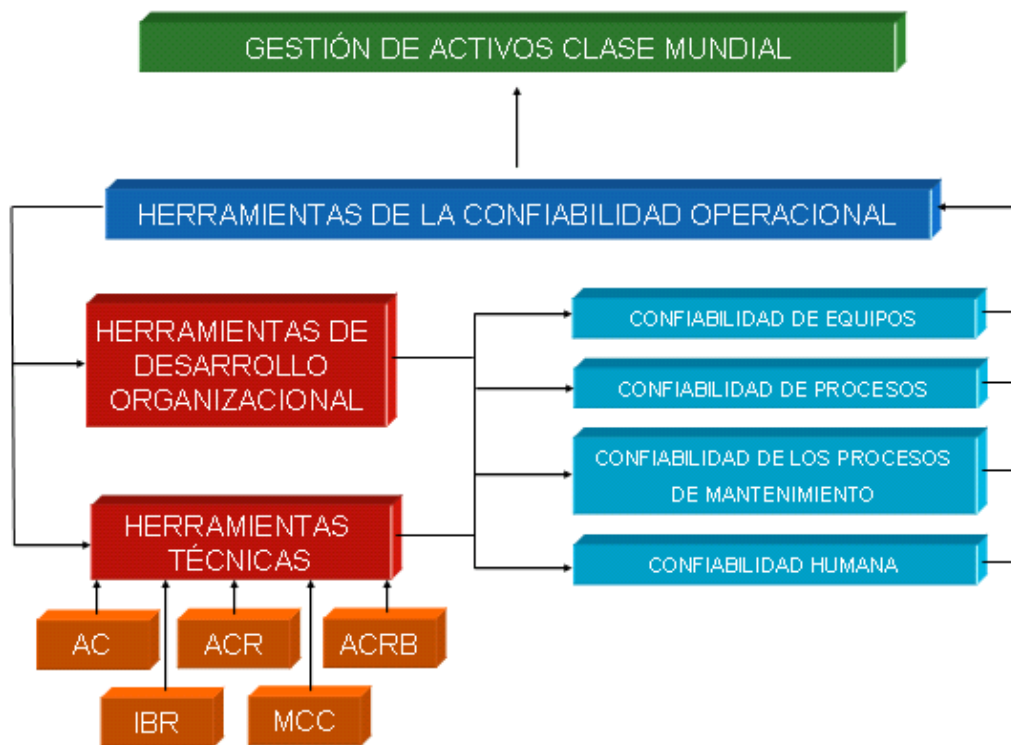


Figura 4.1 Herramientas de Confiabilidad Operacional



4.2- Empresa de Clase Mundial.

El objetivo de las empresas de clase mundial se orienta en incrementar la confiabilidad operacional para así ser más productivas. Entonces, se deben crear planes estratégicos a corto y mediano plazo donde estén involucrados empleados de cualquier nivel (equipo multidisciplinario), controles estadísticos de procesos (considerando la innovación) y programas de mantenimiento fundamentados en disminuir las fallas y sus consecuencias.

4.3- Herramientas de Desarrollo Organizacional.

Las herramientas de desarrollo organizacional abarcan toda una serie de estrategias y metodologías que sugieren la admisión de cambios de modelos o paradigmas dentro de la empresa, al insertar nuevas culturas en el ambiente laboral. Dichas herramientas también comprenden los sistemas de inducción para la conformación de grupos dentro de los distintos departamentos de la empresa; bajo esta idea se genera el *Equipo Natural de Trabajo*, integrado por personas que se desempeñan en diversas áreas de la misma, quienes laboran en conjunto por un lapso determinado de tiempo, con el objetivo de analizar los problemas comunes a los distintos departamentos para así poder solucionarlos de una manera efectiva.

4.4- Herramientas Técnicas.

Las herramientas técnicas son parte fundamental en la confiabilidad operacional, en cuanto a resultados logrados en las distintas áreas operacionales, dirigidas con una visión más práctica.

Actualmente se han desarrollado distintas y específicas herramientas técnicas, con el fin de fomentar el desarrollo de la confiabilidad operacional. Entre ellas encontramos:



4.4.1- *Análisis de Criticidad (AC).*

Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

El AC es una herramienta que agrega vital información a cualquier programa de mantenimiento, facilitando así la toma de decisiones en el mismo.

4.4.2- *Análisis Causa – Raíz (ACR).*

Es una metodología empleada para investigar y reconocer las causas que originan las fallas en una instalación, sistema o equipo; las cuales al ser rectificadas evitarán el acontecimiento de estas. Éste es aplicable cuando se requiere de análisis de fallas repetitivas de equipos, análisis de errores humanos, en el proceso de diseño y aplicación de métodos y su supervisión.

4.4.3- *Análisis de Costo Riesgo Beneficio (ACRB).*

Mediante esta metodología se identifica la frecuencia óptima de actividades de mantenimiento preventivo, fundamentándose en el costo total óptimo que origina. Esto es posible gracias al balance de los costos – riesgos asociados a dichas actividades y los beneficios que genera. Ésta herramienta se puede emplear calculando el riesgo antes del estudio y luego de la implantación de nuevas estrategias, lo que requiere de un amplio lapso de tiempo para su realización.

4.4.4- *Inspección Basada en Riesgos (IBR).*

Es una herramienta que permite precisar la probabilidad de fallas en equipos que transportan y/o almacenan fluidos y las consecuencias que estas fallas pudieran originar sobre los operarios, el ambiente y el proceso productivo. El IBR se utiliza en el momento que se desea evaluar y/o fijar frecuencias de inspección, cuando se quiere optimizar costos de inspección,



cuantificar y/o variar niveles de riesgos y especialmente cuando se necesite mejorar la productividad y rentabilidad.

4.4.5- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

Es una herramienta de análisis sistemático, objetivo y documentado, utilizada para indicar las tareas de mantenimiento en los equipos, bajo su contexto operacional y en función de su criticidad, de cualquier instalación industrial. Con esto se obtienen mejoras en cuanto a la confiabilidad operacional de los sistemas relacionados con la seguridad y disponibilidad, previniendo sus fallos (considerando la seguridad, ambiente y operaciones) y minimizando el costo de mantenimiento.

4.5- Márgenes del Proyecto.

- Limitada disponibilidad de tiempo para su realización, por ello sólo se contempla el desarrollo del plan de mantenimiento, no su aplicación. Esto debido a que se necesitaría un período considerable de tiempo para comenzar a ver resultados tangibles del mismo.

- Sus objetivos se orientan hacia el estudio de la posibilidad de disminución de fallas, reducción de la actividad de mantenimiento, aumento del tiempo entre dos paradas generales sucesivas y el análisis de modos y efectos de falla de los equipos del sistema.

- Sus alcances se enfocan en la evaluación de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos del sistema. Igualmente en la jerarquización de los mismos, considerando impacto a la producción, seguridad, higiene y medio ambiente.



4.6- Decisión.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las herramientas técnicas que mejor se adaptan a los requerimientos de este proyecto son las siguientes:

- Análisis de Criticidad (AC).
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).



CAPÍTULO V

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

5.1- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

Es una herramienta técnica utilizada para indicar las tareas de mantenimiento en los equipos, en función de su criticidad. Con esto se obtienen mejoras en cuanto a la confiabilidad operacional. La idea principal del MCC es que los esfuerzos concentrados en el mantenimiento se deben enfocar en preservar la función que desempeñan los equipos, ya que esto es lo que interesa desde un punto de vista productivo.

Esta metodología involucra siete (7) interrogantes, en donde se necesita que las respuestas sean proporcionadas por el personal técnico, de operaciones, mantenimiento, procesos, supervisores, entre otros:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de desempeño del equipo?
2. ¿De que forma puede fallar el equipo?
3. ¿Cuáles son las causas posibles de cada falla?
4. ¿Qué ocurre al originarse cada falla?
5. ¿Cuál es el impacto de cada falla?
6. ¿Qué debe hacerse para prevenir cada falla?
7. ¿Qué sucede si no se puede prevenir las fallas y que acciones deben realizarse?

5.2- Fase Inicial del MCC.

5.2.1- Conformación del Grupo Natural de Trabajo.

El equipo de trabajo debe ser multidisciplinario, proactivo, conformado por personas de los departamentos de mantenimiento, operaciones y especialistas (ver figura 5.1). Sin embargo, esta conformación del grupo de trabajo puede variar según las necesidades y limitaciones de la planta en

análisis. El grupo será dirigido por un facilitador que podrá o no provenir de los departamentos nombrados anteriormente. Las funciones del grupo de trabajo están enmarcadas en realizar actividades de mejoramiento continuo en las operaciones de la empresa, tales como actividades reactivas (AC, solución de problemas) y actividades proactivas (MCC).



Figura 5.1 Grupo Natural de Trabajo

5.3- Fase de Implantación del MCC.

5.3.1- Selección del Sistema.

Jerarquización de una Planta.

Toda la planta puede dividirse en una serie de grupos constitutivos:

- *Unidad de Proceso*: está conformada por un conjunto lógico de sistemas que trabajan al unísono para o satisfacer un aspecto importante de la planta en cuestión.



- *Sistemas*: es una agrupación de subsistemas o elementos de equipos que actúan conjuntamente para llevar a cabo una acción primaria en la planta.

- *Subsistemas*: es una agrupación de equipos que realizan una etapa del proceso, que esta siendo ejecutado en el sistema.

- *Equipos*: esta agrupación es otra subdivisión de un sistema que reúne elementos que tienen un propósito en particular, cuyas funciones son más específicas.

- *Componentes*: son los elementos que integran al equipo.

Una vez seleccionado un sistema en particular para el análisis, el siguiente paso consiste en esclarecer los procesos en ejecución y las normas de operación requeridas para tales fines. Inicialmente se debe crear un Diagrama de Entrada – Proceso – Salida (EPS) a nivel de sistema.

El **diagrama EPS** (ver figura 5.2) tiene la misma configuración para cualquier sistema o elemento de equipo; uno o muchos insumos son procesados para generar uno o varios productos.

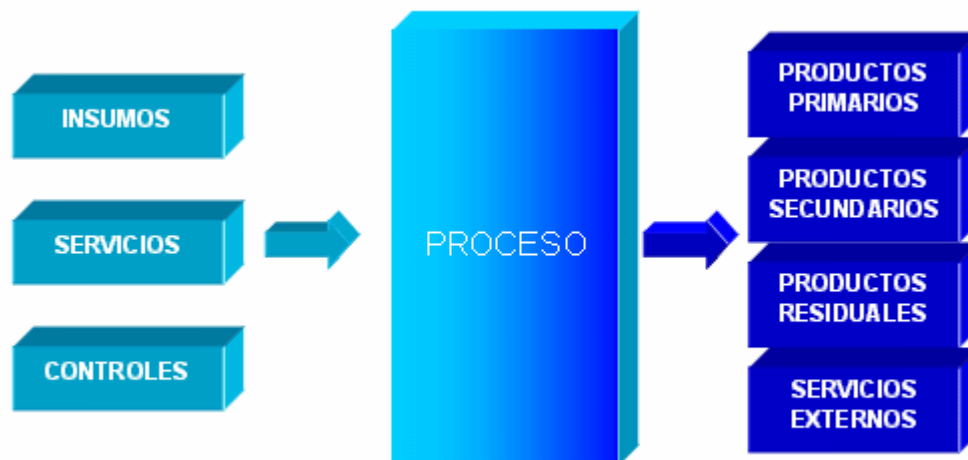


Figura 5.2 Diagrama EPS



Las **entradas** se dividen en: *insumos* (son la materia prima a transformar), *servicios* (tales como agua y electricidad) y *controles* (permiten el control de equipos y sistema).

El **proceso** debería registrarse como una descripción de la acción que tiene lugar, ya que allí se concentran las ideas sobre el mantenimiento de la función que está siendo ejecutada.

Las **salidas** se agrupan en *productos primarios* (son los productos principales del sistema), *productos secundarios* (son aquellos productos que el sistema genera como derivados), *productos residuales* (productos de desecho) y *servicios externos* (provienen de un sistema, pero por lo general pueden ser ignorados en lo que respecta al análisis del proceso y al análisis de modos y efectos de falla).

5.3.2- Análisis de Criticidad (AC).

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). Se debe:

- Definir un alcance y propósito para el análisis.
- Establecer criterios de importancia.
- Seleccionar un método de evaluación para jerarquizar los sistemas seleccionados.

La Criticidad Total (CT) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CT} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia} \quad \text{.....(Ec. 5.1)}$$

$$\text{Consecuencia} = [(IO \times FO) + CM + ISAH] \quad \text{.....(Ec. 5.1.1)}$$



Se establecen como criterios fundamentales los siguientes:

- Frecuencia de Fallas (FF): son las veces que falla cualquier componente en el sistema.
- Impacto Operacional (IO): es el nivel de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
- Flexibilidad Operacional (FO): revisa la existencia de otra vía de producción, paralela a la regularmente utilizada.
- Costos de Mantenimiento (CM): indica el gasto en mantenimiento.
- Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene (ISAH): contempla la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, el ambiente e instalaciones.
- Criterio de Evaluación.

- *Frecuencia de Fallas (FF):*

Pobre: mayor a 5 fallas/semana	4
Promedio: 3 – 5 fallas/semana	3
Buena: 1 – 2 fallas/semana	2
Excelente: menor a 1 falla/semana	1

- *Impacto Operacional (IO):*

Parada inmediata de toda la planta	10
Impacto en niveles de producción o calidad	8
Parada del sistema y efectos en otros sistemas	6
Costos operacionales mientras no esté disponible	2
Sin efectos en producción/operación	1

- *Flexibilidad Operacional (FO):*

No hay opción alterna de producción	4
Opción alterna de producción o equipo compartido	2
Hay respaldo	1

- *Costos de Mantenimiento (CM):*

Mayor o igual a XX Bs.	2
Inferior a XX Bs.	1

- *Impacto en la Seguridad, Ambiente e Higiene (ISAH):*

Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta al ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún daño a personas instalaciones o ambiente	0

Para evaluar la Criticidad Total (CT), se emplea la siguiente tabla:

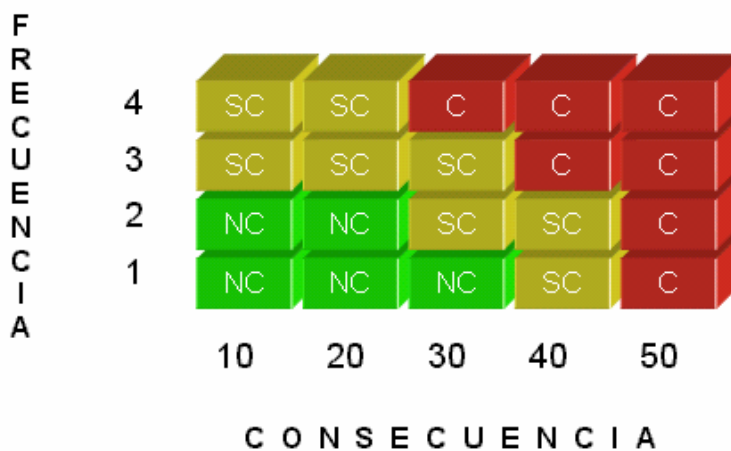


Tabla 5.1 Criticidad Total



Al tener plenamente establecido cuáles sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera eficiente los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, proactivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; permitiendo establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

5.3.3- *Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).*

Es un método de análisis de confiabilidad que permite identificar las razones de la posible falla de un elemento. El AMEF, mediante la identificación de las causas de una falla y sus frecuencias, genera un insumo para las tareas de mantenimiento; suministra una lista de las razones que generan las fallas y que podrían prevenirse mediante acciones de mantenimiento. De las siete interrogantes del MCC las primeras cuatro pueden ser respondidas utilizando esta técnica.

La ventaja de este proceso es la capacidad que aporta para considerar las posibles fallas que no se han presentado en la práctica, para así poder crear medidas preventivas.

La información obtenida mediante este análisis es registrada en una planilla llamada *Hoja de Información*. Las columnas principales son:

- Función.

Todo equipo, sistema o planta puede tener una o varias funciones y se deben considerar todas al momento de realizar un análisis de modos y efectos de fallas. Ellas se clasifican en:

- *Funciones Primarias:* son aquellas para las cuales fue diseñado el equipo; qué necesitas que haga el equipo y de qué quieres que sea capaz.



- *Funciones Secundarias:* son todas aquellas funciones ejecutadas por el sistema como un proceso continuo mientras se llevan a cabo las funciones primarias.

- *Funciones de Seguridad:* son un grupo de funciones que protegen, tanto a los operadores u otro personal, como a los equipos contra los efectos de las fallas. La función de los dispositivos de seguridad puede ser:

Evidente: son aquellas que el operario se da cuenta que han fallado en circunstancias normales

Ocultas: son los dispositivos de seguridad que el operario no se entera de que han fallado en circunstancias normales.

• Fallas Funcionales.

El MCC define falla funcional como un suceso no predecible, que no permite al equipo alcanzar el estándar de ejecución esperado y trae como consecuencia que el mismo no pueda cumplir su función total o parcialmente (cada estándar de ejecución puede tener más de una falla funcional). Se distinguen cuatro tipos de fallas, a saber:

- *Falla Parcial:* origina desviaciones en la función del equipo. No la interrumpe totalmente.

- *Falla Intermitente:* falla por cierto tiempo y luego recobra su capacidad normal de funcionamiento.

- *Falla Total:* interrumpe totalmente la función requerida del equipo.

- *Falla Catastrófica:* son repentinas y requieren de mucho tiempo y/o dinero para corregirlas.

• Modo de Falla.

El modo de falla es el que provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener



más de un modo de falla). Al registrar los modos de una falla es recomendable tener presente:

1. Causas reales de la falla.
2. Posible falla.
3. Nivel de detalle en la falla de equipos.

• Efectos de Falla.

Reporta la información de los eventos secuenciales que ocurren cuando un modo de falla tiene lugar. Los efectos de la falla deben ser descritos de tal forma que contribuyan a la selección de la tarea de mantenimiento correspondiente. Los efectos de falla que deben registrarse son aquellos que se presentan si no se tomase acción alguna para evitar la falla.

5.3.4- Consecuencias.

Consecuencia en MCC se define como el impacto que produce cada modo de falla, ya sea en el equipo, la producción, la seguridad o el ambiente.

Existen cuatro (4) clases de consecuencia de falla las cuales son:

- *Consecuencias Ocultas:* no existen efectos obvios (detectables por los operarios) de la causa de la falla, a menos que falle algún otro elemento.
- *Consecuencias a la Seguridad y Ambiente:* ponen en riesgo la integridad física tanto del entorno de trabajo como la de las personas.
- *Consecuencias Operacionales:* afectan a la capacidad de producción, a la calidad del producto y servicio al cliente.
- *Consecuencias No Operacionales:* no afectan a la producción, seguridad ni ambiente. Su único gasto directo es la reparación.



5.3.5- Tareas de Mantenimiento.

La selección de una actividad de mantenimiento para combatir las consecuencias de una determinada causa de falla dependerá de:

1. Si existe o no una tarea técnicamente posible.
2. Que valga la pena realizar la tarea técnicamente posible.
3. Que pueda especificarse otra acción si no existe una tarea técnicamente posible o si no vale la pena realizar ninguna de las tareas posibles.

Las estrategias de mantenimiento bajo un ambiente de trabajo MCC, pueden ser:

- Estrategias Proactivas.

Buscan evitar las consecuencias de la ocurrencia de fallas funcionales, bien sea mejorando la confiabilidad de los sistemas o mediante la detección temprana de las fallas. Estas se clasifican en:

- *Tareas de Prolongación:* buscan la eliminación de raíz de las posibles causas de fallas o una disminución de la frecuencia de las mismas. Se orienta a la revisión de tareas de lubricación, entonación, ajustes, balanceo, alineación, entre otras. Incluye la revisión y actualización de tecnologías, procedimientos, materiales...

- *Tareas Preventivas:* para elegir este tipo de tarea es obligatorio conocer la relación entre la edad del equipo y la probabilidad de falla. Se trata de tareas ejecutadas con una frecuencia fija. Es decir, los equipos están sometidos a envejecimiento (según las figuras 5.3, 5.4 y 5.5, sólo los patrones A, B y C lo hacen aplicable):

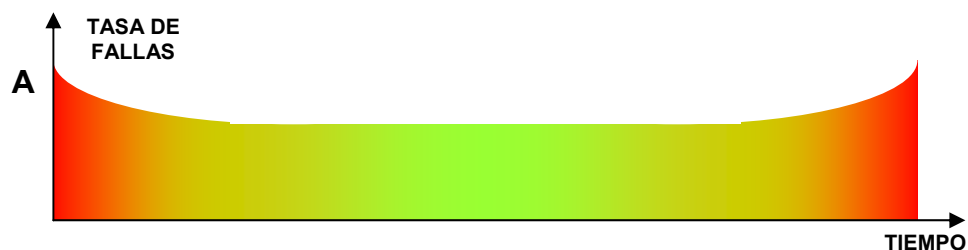


Figura 5.3 Patrón A



El patrón A está referido a la curva de la bañera, mencionada en el capítulo II.



Figura 5.4 Patrón B

El patrón B sugiere que la expectativa es que la mayoría de los equipos operarán confiablemente por un período constante, y luego se desgastan.

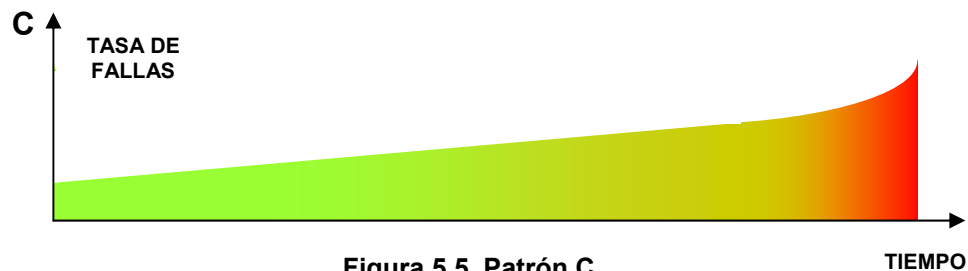


Figura 5.5 Patrón C

El patrón C muestra una probabilidad lentamente creciente de fallo, sin una edad específica de desgaste.

La tarea se ejecuta sin importar el estado físico del equipo. Éstas son de dos tipos:

- a. Restauración Preventiva Programada: el equipo es reconstruido, buscando dejarlo como nuevo.



b. Reemplazo Preventivo Programado: al no poder ser reconstruido en sitio o no es económico realizarlo, otra opción es su reemplazo por uno nuevo (o reconstruido), una vez cumplido cierto uso.

- *Tareas Predictivas*: si el patrón de comportamiento es del tipo D, E o F (como se ve a continuación en las figuras 5.6, 5.7 y 5.8), el tiempo no aporta ninguna información sobre la probabilidad de ocurrencia de una falla, sin embargo hay un tipo de fallas diverso donde existe un parámetro físico mensurable, relacionado con su desarrollo estableciéndose un punto de falla potencial.



Figura 5.6 Patrón D

El patrón D muestra una baja probabilidad de falla inicial y luego un rápido incremento a un nivel constante.



Figura 5.7 Patrón E

El patrón E muestra una probabilidad constante a cualquier edad.



Figura 5.8 Patrón F

El patrón F comienza con una alta probabilidad de mortandad infantil para decaer a una probabilidad baja y constante o ligeramente creciente de fallo.

A medida que los equipos se tornan más complejos, se comportan de acuerdo con los patrones de fallo E y F.

Estas tareas son aplicables si el intervalo de falla potencial (PF, intervalo de tiempo entre el punto donde la falla potencial es detectable y el punto donde la falla funcional se desarrolla) es bien conocido y no es variable. El intervalo PF debe ser lo suficientemente grande para permitir tomar acciones contra la falla potencial. La figura 5.9 muestra como una condición logra caer en desempeño desde un valor de 100% a valores donde se puede detectar un punto de reacción (alarma, contingencia, etc) y un punto donde la falla se desarrolla.

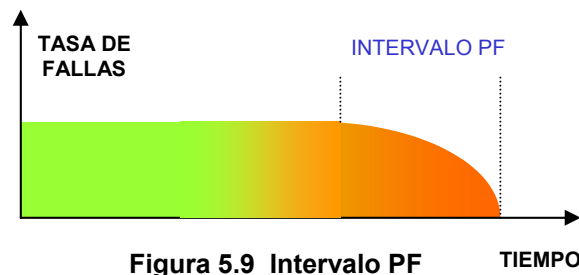


Figura 5.9 Intervalo PF



El criterio tradicional del MCC dice que:

“El intervalo de las tareas debe ser menor que el intervalo PF, en la práctica un valor a tomar podría ser la mitad del intervalo PF; cualquiera sea el criterio, el procedimiento es detectar a tiempo para poder tomar acciones al respecto”.

- Estrategias por Omisión.

Son ejecutadas si no hay ninguna manera (aplicable y efectiva) de evitar la ocurrencia de fallas funcionales y vienen a responder la séptima pregunta del MCC. Las acciones a tomar pueden ser las siguientes:

- *Pesquisa de Fallas/ Prueba de Función:* búsqueda sistemática y programada de fallas ocultas mediante la prueba de funciones operación. Sólo se deberá ejecutar si no es técnicamente aplicable otra tarea de mantenimiento y se asegura con esta un nivel aceptable de riesgo.

- *Operación Hasta la Falla:* se trata de la decisión justificada de operar hasta la falla y soportar sus consecuencias. Es aplicable si no existe una tarea de mantenimiento preventivo con consecuencias de fallas tolerables, no existen consecuencias del tipo seguridad o ambiente, no existen daños elevados a la moral del trabajador o a la imagen pública o si los costos de hacer mantenimiento preventivo son mayores que los atribuibles a la ocurrencia de la falla.

- *Modificaciones del diseño:* se refiere a cualquier cambio a realizar (materiales, distribuidores o modelos de equipos o parte de instalación de equipos de protección) Es aplicable si las consecuencias del tipo seguridad y ambiente no pueden ser prevenidas o las consecuencias son del tipo económico (operacional y no operacional) donde el rediseño puede ser recomendable mas no es obligatorio.



5.3.5.1- Redacción de las Tareas.

Estas son analizadas con el objeto de determinar los recursos requeridos para llevarlas a cabo, tras lo cual podrán ser agrupadas para conformar cronogramas de mantenimiento.

5.3.5.2- Análisis de las Tareas.

Una vez redactadas, las tareas deben ser analizadas para determinar el tipo de recursos que se requieren para ejecutarlas, los niveles de destrezas que se necesitan para cada tarea, las herramientas y repuestos requeridos para garantizar la adquisición de tales recursos y el tiempo requerido para llevarlas a cabo.

5.3.5.3- Planificación de los Programas de Mantenimiento.

- Programas de Baja Frecuencia.

Deben ser definidos detalladamente cada vez que se planifican, ya que los intervalos de ejecución son inferiores a una vez por semana.

- Programas de Alta Frecuencia.

Se debe incorporar estas actividades a una serie de procedimientos operativos que conformen una rutina. Los intervalos de ejecución son superiores a una vez por semana.

5.4- Beneficios del MCC.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad ha sido utilizado por una amplia variedad de industrias durante la última década. Al aplicarlo correctamente se producen los siguientes beneficios:

1. Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:
 - Disminución del número de fallas por mantenimiento innecesario.



- Mejora el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- Revisa sistemáticamente de las consecuencias de cada falla antes de considerar la falla operacional.

2. Mejores rendimientos operativos, debido a:

- Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Un diagnóstico rápido de las fallas de equipos mediante la referencia a los modos de falla relacionados con su(s) función(es) y a los análisis de sus efectos.
- Intervalos más largos entre las revisiones.
- Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas.
- Menos problemas de “desgaste de inicio” luego de las interrupciones, debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.

3. Mayor control de los costos de mantenimiento, originado por:

- Mejor compra de nueva tecnología y servicios de mantenimiento.
- La prevención o eliminación de fallas costosas.
- Menor necesidad de emplear personal experto.

4. Amplia base de datos de mantenimiento, lo cual:

- Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- Provee un conocimiento general de la planta más profundo en su contexto operacional.
- Provee una base valiosa para la introducción de los sistemas expertos.
- Conduce a la realización de planos y manuales más exactos.



5. Mayor motivación de las personas, referente a:
 - El personal que interviene en el proceso de revisión.
 - Origina un conocimiento de la planta, en su contexto operacional, más amplio.
 - Los problemas de mantenimiento son compartidos, lo que genera soluciones con mayores probabilidades de éxito.

6. Mejor trabajo en grupo, motivado por:
 - Un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones.
 - Lo anterior trae como consecuencia una mejor comunicación y cooperación entre el personal de diferentes niveles que en la planta labora, así como los especialistas internos y externos.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad genera resultados muy rápidos. De hecho, la mayoría de las organizaciones pueden completar satisfactoriamente una revisión del MCC en menos de un año, empleando el personal existente. La revisión culmina con una recopilación de la documentación, fiable y totalmente documentada del mantenimiento cíclico de todos los equipos significativos de cada sistema de la planta.



CAPÍTULO VI

Descripción de la Empresa.

6.1- Reseña Histórica.

En Venezuela, C.A Café Fama de América se presenta como una de las empresas torrefactoras de café con mayor arraigo en el mercado. Esta empresa, de reconocida tradición familiar, lleva más de 100 años de producción.

En 1869 nace Bernardo González Palenzuela, en Tenerife. En 1883 se traslada a Venezuela. Al poco tiempo se inició como comerciante en el Centro de Caracas, siendo el café el producto de su venta. Durante más de una década ahorró como para hacerse dueño del negocio, y a sus 33 años, vendió todo para regresar a España, casarse y darse cuenta que su vida estaba en Caracas, regresando, readquiriendo los bienes recién vendidos y continuando con el negocio de cafetalero.

En los años siguientes la empresa continuó su crecimiento y en 1927 siendo ya mayor de edad Bernardo González (hijo), registra el nombre de la marca de Café Fama de América. Tres décadas más pasarían antes de modificar el nombre que la empresa ostenta hoy: C.A. Café Fama de América.

Guillermina González Rodríguez, la menor de los nueve hijos de Bernardo González y su esposa Josefa Rodríguez de González, ocupa hoy la presidencia de Fama de América.

6.2- Ubicación.

En la actualidad C.A. Café Fama de América, se encuentra ubicada principalmente en Caracas. Las oficinas administrativas se encuentran en la Avenida San Juan Bosco, Edificio Centro Altamira, Piso 15. Desde estas oficinas se manejan algunas de las principales Gerencias: Recursos



Humanos, Tecnologías de Información, Finanzas, Contabilidad y diferentes departamentos.

La Planta se encuentra ubicada en la 2da. Calle, Urbanización Industrial la Yaguara-Antímano; desde la cual se lleva a cabo todo el proceso de Abastecimiento, Producción, Control de Calidad y Comercialización del café; cada etapa dirigida por su respectiva Gerencia.

Igualmente, C.A. Café Fama de América posee diferentes Centros de Venta en el interior del país, entre ellos Valencia, Barquisimeto y Barcelona, almacenes que se caracterizan por ser amplios y acordes con el producto que se maneja.

6.3- Productos.

C.A. Café Fama de América, posee una clasificación de sus productos por el mercado al cual son dirigidos y que son completamente producidos en la Planta de la Yaguara, ubicada en Caracas- Venezuela. Entre los productos que elaboran, se encuentran:

- **Café molido. Calidad Extra.**

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 50 gr., conocido como “Papeletas”. Se agrupan en fardos de 1 Kg. formados por 20 unidades, donde finalmente se colocan 10 bolsones de 1 Kg. en una bolsa de 10 Kg. o 5 bolsones de 1 Kg. en una bolsa de 5 Kg.

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 100 gr., conocido como “Papeletas”. Se agrupan en fardos de 1 Kg. formados por 10 unidades, donde finalmente se colocan 10 bolsones de 1 Kg. en una bolsa de 10 Kg. o 5 bolsones de 1 Kg. en una bolsa de 5 Kg.

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 200 gr. Se agrupan en arreglo de 20 unidades formando un fardo de 4 Kg., o bien en arreglo de 15 unidades formando un fardo de 3 Kg.



- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 250 gr. Se agrupan en fardos de 5 Kg. formados por 20 unidades.

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 500 gr. Se agrupan en fardos de 3Kg. formados por 6 unidades, o bien en fardos de 5 Kg. formados por 10 unidades.

- Café molido. Calidad Deleite

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 200 gr. Se agrupan en fardos de 3 Kg. formados por 15 unidades, o bien en fardos de 4 Kg. formados por 20 unidades.

- Café molido “Colao”. Calidad Deleite.

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 250 gr. Se agrupan en fardos de 3 Kg. formados por 12 unidades, o bien en fardos de 5 Kg. formados por 20 unidades.

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 500 gr. Se agrupan en fardos de 3Kg. formados por 6 unidades, o bien en fardos de 5 Kg. formados por 10 unidades.

- Café molido. Tipo Espresso.

- Producto envasado en lata, con un peso neto de 400 gr. Se agrupan en una caja de 4,8 Kg. formada por 12 unidades.

- Producto extra fino empacado en polipropileno, con un peso neto de 1 Kg. Se agrupan en fardos de 5 Kg. formados por 5 unidades.

- Café tostado en granos. Calidad Extra Fino.

- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 500 gr. Se agrupan en un fardo de 5 Kg. formado por 10 unidades.



- Producto empacado en polipropileno, con un peso neto de 1 Kg. Se agrupan en fardos de 3 Kg. formados por 3 unidades (formato Makro), o bien en fardos de 5 Kg. formados por 5 unidades.

- Café Gourmet.

- Producto empacado en aluminizado, con un peso neto de 200 gr. Presenta sabores como amaretto y sambuca. Se agrupan en fardos de 4 Kg. formados por 20 unidades.

- Producto empacado en aluminizado, con un peso neto de 200 gr. Presenta sabores como vainilla, chocolate y canela. Se agrupan en display de 12 unidades para 1 sabor; display de 12 unidades para 3 sabores, formados por 4 productos y estuches de 6 unidades para 3 sabores, formados por 21 productos.

6.4- Objetivo de la Empresa.

Liderizar el mercado de café tostado y molido, ofreciendo productos de la más alta calidad, naturalmente venezolanos, contando con el mejor recurso humano y manteniendo la tradición que siempre la ha distinguido como empresa, obteniendo de esta manera la rentabilidad, estabilidad y crecimiento que finalizan en un bienestar común para toda la familia Fama de América.

6.5- Valores.

Una tradición comprometida con la innovación, la calidad y la integridad que conforma una organización de emprendedores.

6.6- Visión.

Que sus productos sean consumidos en la mayoría de los hogares venezolanos.



6.7- Misión.

Fundada en 1.887, Fama de América es la empresa líder en la torrefacción del café. Se han propuesto mejorar continuamente su trabajo para satisfacer con creces las necesidades de sus clientes internos y externos, garantizar un retorno adecuado a los accionistas, aumentar constantemente el valor de la compañía y su personal, cumplir sus obligaciones con la comunidad y el medio ambiente.

6.8- Calidad.

C.A Café Fama de América se rige bajo patrones bien definidos comenzando el análisis de la calidad desde que es recibido o abastecido el café verde como materia prima (siguiendo las especificaciones y las normas establecidas por NORVEN), hasta que el café verde es procesado y transformado en el café de consumo. Así mismo, los almacenes de materia prima y producto terminado cumplen satisfactoriamente con las normas establecidas por Fondo Norma (COVENIN).

6.8.1- Política de Calidad.

Garantizar el suministro de café de calidad en forma oportuna y eficiente a todos nuestros clientes. Contamos con materias primas, personal, tecnología, equipos y productos de marca reconocida, acordes con las exigencias del mercado. Estamos orientados a ser líderes, competitivos y exitosos; nuestro compromiso es con nuestros clientes, accionistas, personal, proveedores y el entorno, basándonos en un sistema de gestión de calidad que garantiza la estandarización de los procesos, la disciplina en el cumplimiento de sus exigencias y la mejora continua.



6.9- Estructura Organizativa.

La estructura organizativa de C.A. Café Fama de América está dada actualmente por:

- Accionistas
- Junta Directiva: conformada por un Presidente, dos Vicepresidentes y dos directores
- Áreas funcionales de la empresa: Gerencia de Abastecimiento, Gerencia de Comercialización, Gerencia de Recursos Humanos, Gerencia de Tecnología de Información, Gerencia de Finanzas, Gerencia de Contabilidad, Gerencia de Aseguramiento de la Calidad y la Gerencia de Planta.

El área de estudio para la realización del proyecto (ver figura 6.1) pertenece al Mantenimiento Técnico y Proyectos, el cual está estructurado por la Gerencia de Planta y una Jefatura de Mantenimiento Técnico y Proyectos. Dicha jefatura tiene a su cargo Supervisores por turno, técnicos, operadores, almacenista y obreros.

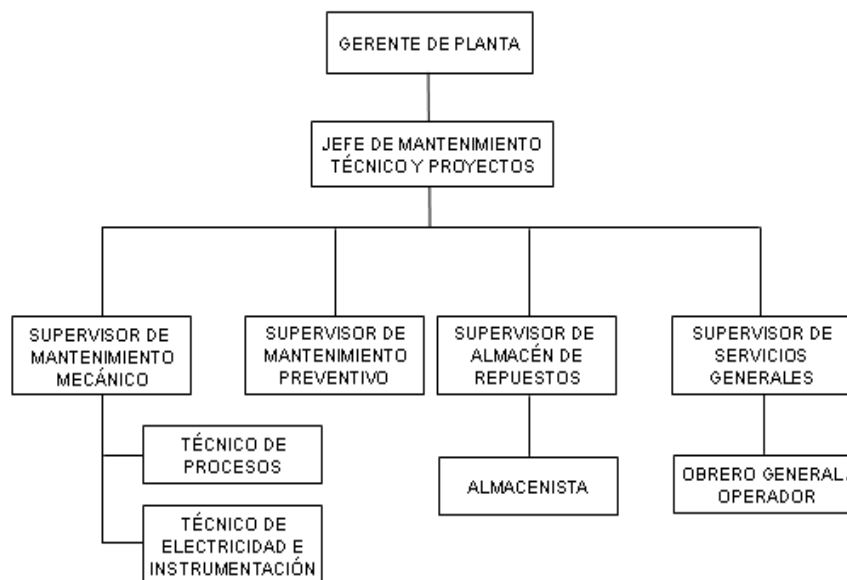


Figura 6.1 Área de Estudio

6.10- Descripción del Proceso Productivo.

6.10.1- Proceso de Recepción.

El café verde, proveniente de los puestos de compra de materia prima, es sometido a diversos controles de recepción de materia prima e insumos llevados a cabo por el laboratorio de aseguramiento de calidad, el cual corrobora las características físico-químicas de dicho café. Luego de una serie de procedimientos correspondientes al registro en el sistema de inventario, se envían los sacos de café verde dispuestos en paletas hacia el almacén. Posteriormente al proceso de recepción de café verde en la planta, el grano es sometido a diferentes transformaciones mediante una serie de operaciones sucesivas, generando así el producto final.

6.10.2- Proceso de Torrefacción.

- Mezcla y Limpieza del Café Verde.

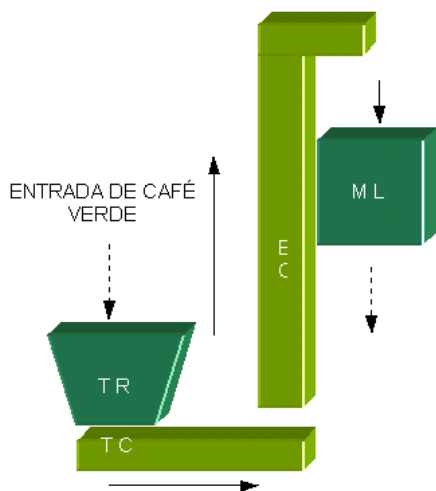


Figura 6.2 Mezcla y Limpieza del Café Verde

En esta fase, se emplean equipos cuya función primordial es la exclusión de cuerpos extraños al café, la homogeneización de los granos de café seleccionados, el transporte, distribución, almacenamiento y pesaje de los granos de café verde ya limpios. Los equipos empleados en dicha fase son los siguientes: *Tolva de Recepción (TR)*, *Transporte de Cadena (TC)*, *Elevador de Cangilones (EC)* y *Máquina Limpiadora (ML)*.

- Transporte del Café Verde al Almacenamiento Previo al Tostado.

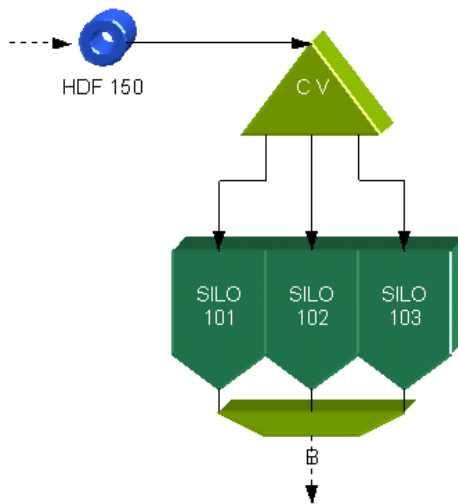


Figura 6.3 Transporte del Café Verde

En esta fase, se utilizan equipos que tienen como función principal trasladar los granos de café verde desde la máquina limpiadora hacia los silos de almacenamiento 100, mediante aire. Los equipos que aquí intervienen son: *Soplador HDF 150*, *Cambiavías (CV)*, *Silos 100 (3 unidades)* y *Balanza (B)*.

- Transporte del Café Verde a las Tostadoras.

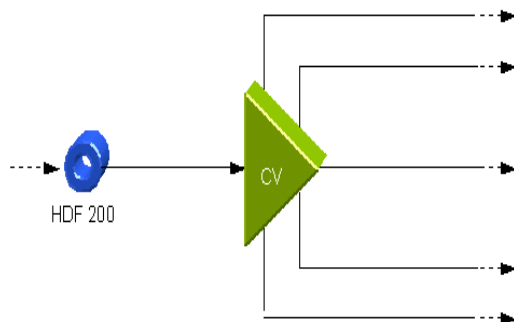


Figura 6.4 Transporte del Café Verde

Las funciones primarias de los equipos aquí destinados comprenden el enviar los granos de café verde desde la balanza hasta las tostadoras. Estos equipos son: *Soplador HDF 200* y *Cambiavías (CV)*.

- Tueste del Café Verde.

Consiste en el tratamiento térmico al que son sometidos los granos de café verde, desprendiéndose las características propias del café para su consumo. Los equipos utilizados son: *Tostadoras (To)* (5 unidades).

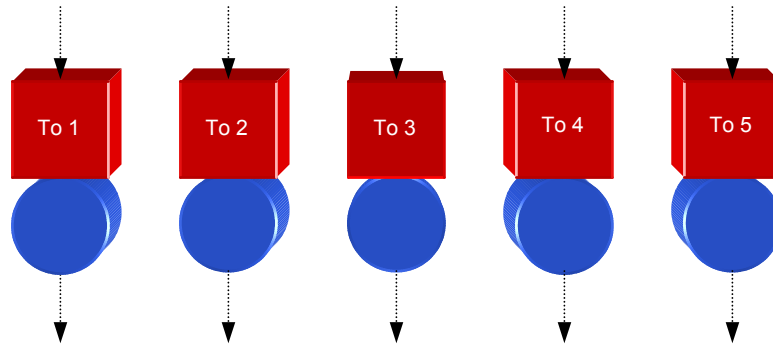


Figura 6.5 Tueste del Café Verde

- Transporte del Café Tostado al Almacenamiento Posterior al Proceso de Tostado.

Aquí se conducen los granos de café tostados, desde las tostadoras hasta los silos de almacenamiento 200, a través del transporte mecánico. Los equipos a continuación participan en esta fase: *Transportador Elevado de Banda (TEB)* (5 unidades), *Transportador Elevado de Cadena (TEC)*, *Elevador de Cangilones (EC)* y *Silos 200* (3 unidades).

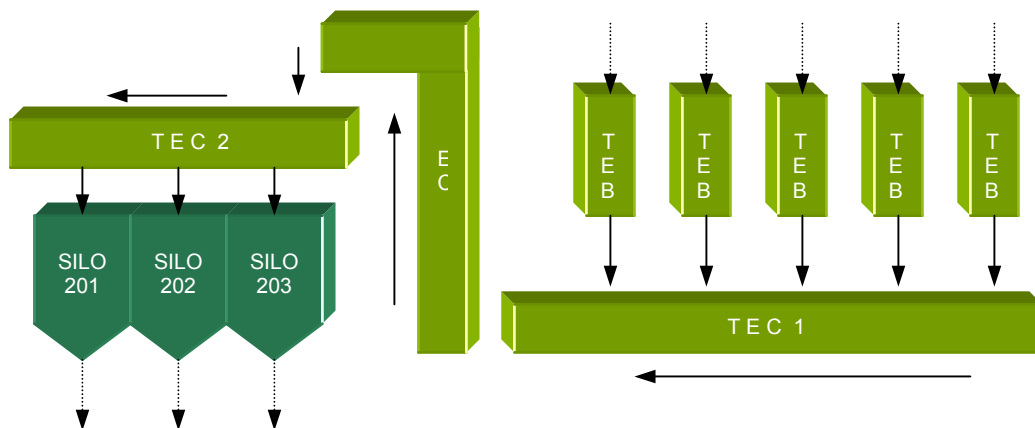


Figura 6.6 Transporte del Café Tostado



- Transporte del Café Tostado al Almacenamiento Previo al Proceso de Molienda.

Los granos de café tostado son depositados en los *Carros de Distribución (CD)* (3 unidades), ubicados debajo de los silos de almacenamiento 200, para luego ser llevados a los *Silos 300* (7 unidades), mediante *Elevadores de Cangilones Tipo L (ECL)* (3 unidades) y *Transportadores Elevado de Cadena (TEC)* (3 unidades); según la figura 6.7:

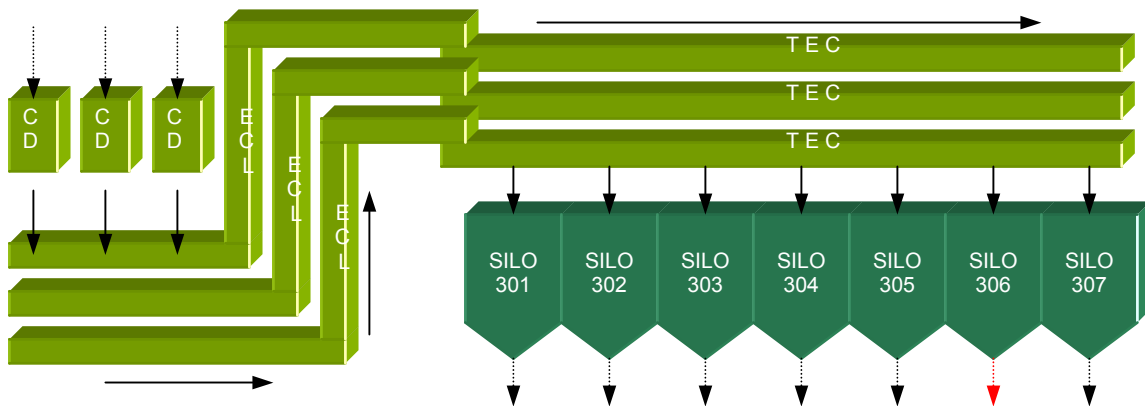


Figura 6.7 Transporte del Café Tostado

- Molienda del Café Tostado.

Los silos de almacenamiento 300 alimentan a un conjunto de *Molinos (M)* (6 unidades), tipo rodillos, en los cuales se molturan los granos de café tostado hasta su dimensión específica. Los equipos que se emplean en esta etapa de la producción se observan en la figura 6.8:

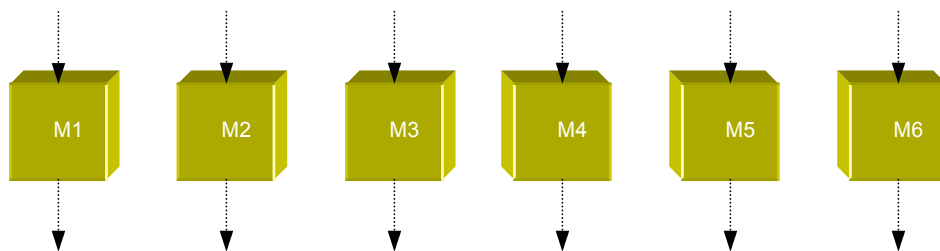


Figura 6.8 Molienda del Café Tostado



- Transporte del Café Molido al Almacenamiento Previo al Proceso de Empaque.

En esta fase se transporta el café molido, tanto mecánica como neumáticamente, desde los molinos hasta los silos de almacenamiento 400; empleando equipos tales como *Tornillos Sin Fin (TSF)* (4 unidades), *Tolvas (TV)* (2 unidades), *Bombas de Vacío (BV)* (4 unidades), *Esclusas (ES)* (2 unidades) y *Silos 400* (6 unidades); los cuales se indican a continuación:

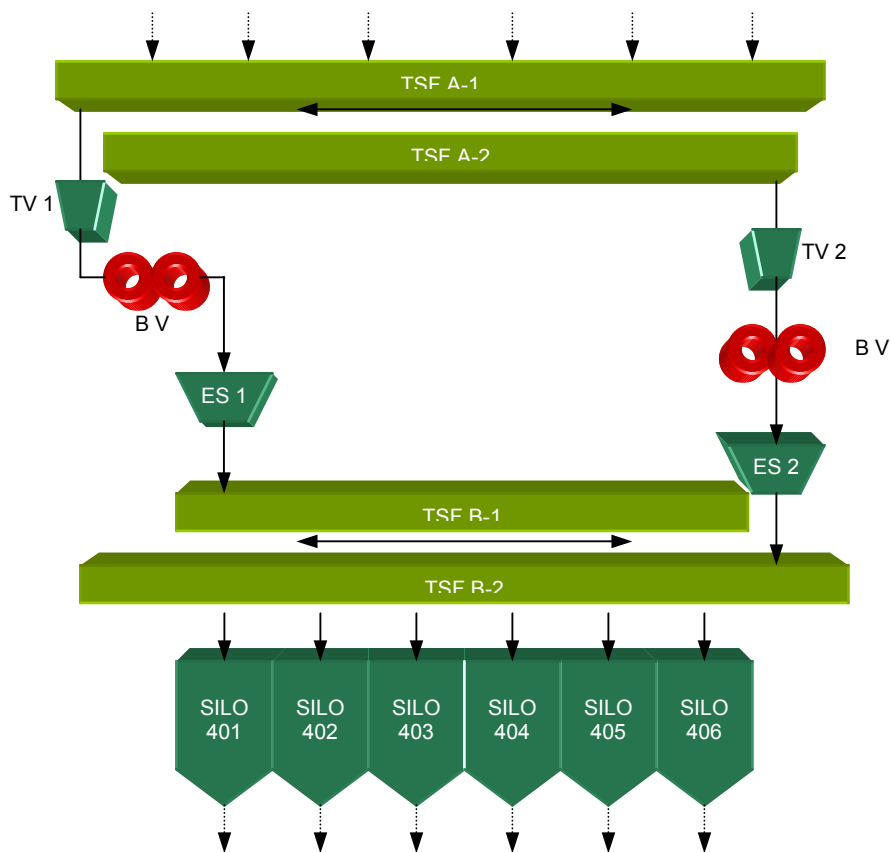


Figura 6.9 Transporte del Café Molido



- Transporte del Café Molido Hacia las Máquinas Empacadoras.

Las funciones principales de los equipos incluidos en esta etapa comprenden el transporte y distribución del café molido, desde los silos de almacenamiento 400 hasta las tolvas dosificadoras 500. Estos equipos son: *Esclusas (ES)* (3 unidades); *Tornillos Sin Fin (TSF)* (7 unidades) y *Tolvas 500 (TV)* (11 unidades).

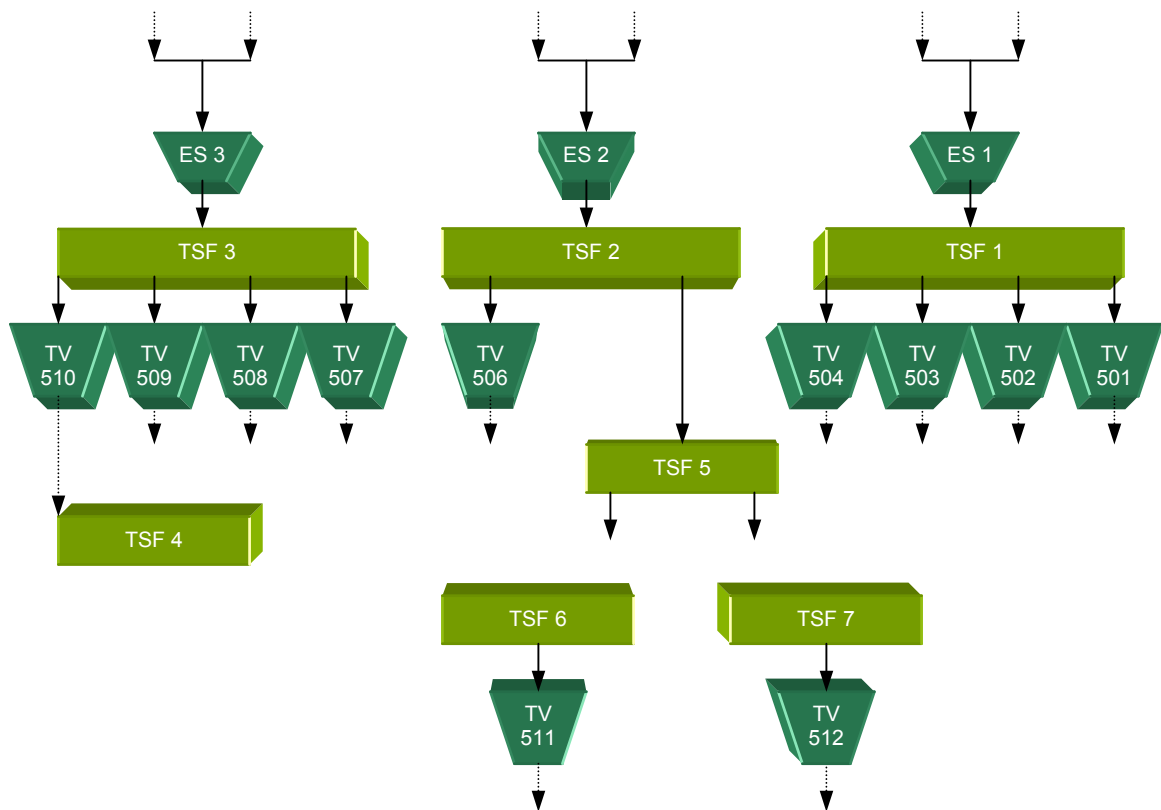


Figura 6.10 Transporte del Café Molido

6.10.3- Proceso de Empaque.

- Empaque.

Así se denomina a la etapa terminal del proceso productivo, la cual utiliza equipos electrónicos de alta velocidad. Ellos tienen como finalidad generar diversas presentaciones o formatos, dirigidos a cumplir con los requerimientos del mercado. La cantidad y la disposición de cada equipo emparador están predeterminadas según las necesidades de la demanda comercial por tipo de producto. Estos equipos son los siguientes: *Empacadoras (E) (14 unidades)* y *Agrupadoras (A) (6 unidades)*.

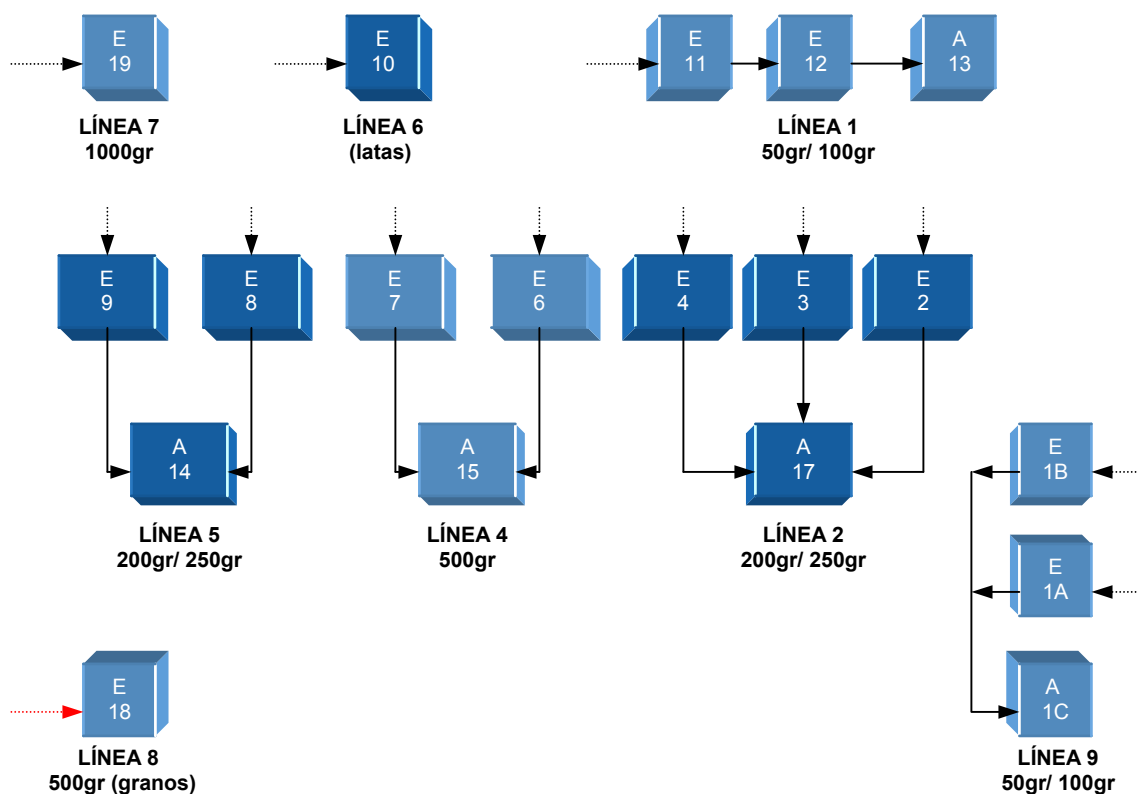


Figura 6.11 Proceso de Empaque

CAPÍTULO VII

Descripción del Programa Relest

(Reliability Estimation - Estimación de la Confiabilidad).

7.1- Generalidades.

Relest es un programa diseñado con el fin de proporcionar un modelo de distribución probabilística para datos de falla. El sistema ejecuta el análisis de muestras completas o parciales y ofrece una serie de parámetros de distribución. Además de los valores principales, el sistema también proporciona los parámetros de variaciones en intervalos discretos.

Luego de determinar la distribución de parámetros, el sistema puede graficar la función confiabilidad, la tasa de riesgo, la función densidad de probabilidad y la función densidad acumulativa (ver figura 7.1). Éste también calcula un punto particular (confiabilidad o riesgo para un tiempo dado) o el tiempo promedio operativo (TPO) del equipo en estudio.

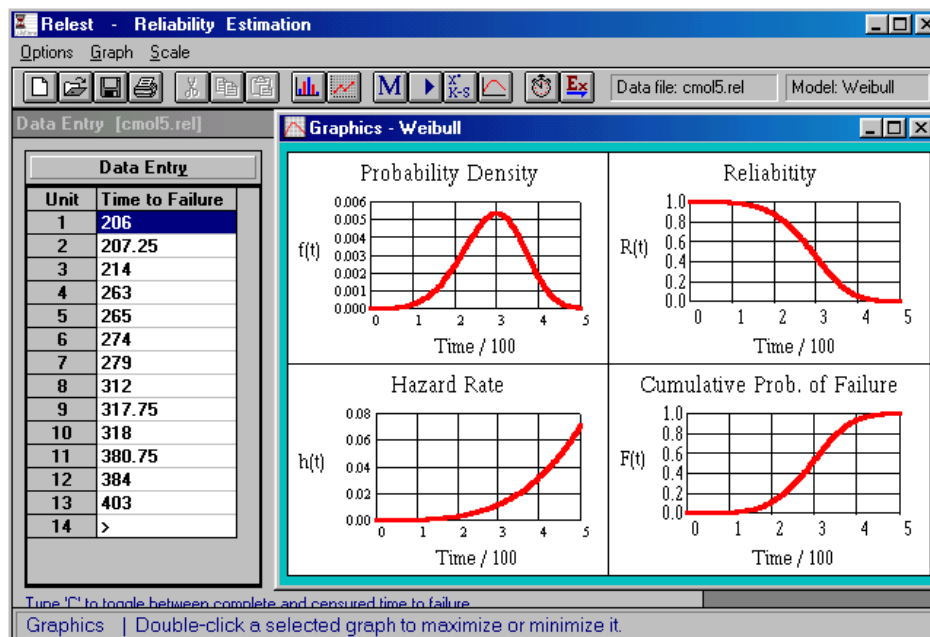


Figura 7.1 Relest – Reliability Estimation (Estimación de la Confiabilidad)



7.2- Ingreso de Datos.

Cuando Relest es abierto, la ventana de acceso de datos (Data Entry) se presenta automáticamente en el costado izquierdo de la pantalla (ver figura 7.1), así que el usuario puede ingresar nuevos datos de tiempos operativos en sus respectivos campos. En la parte superior-derecha de dicha ventana se halla un botón de procesamiento de datos (Proceed) que, al presionarlo, el sistema detecta el tamaño de la muestra, número y tipo de datos.

7.3- Opciones de Modelo.

La elección del modelo es el próximo paso del análisis de confiabilidad. En estudios de confiabilidad, los modelos estadísticos más comúnmente usados son: Exponencial, Weibull, Gamma, Lognormal y Lineal - Exponencial.

7.4- Pruebas de Ajuste.

Su objetivo principal es revisar el ajuste dado por el modelo seleccionado. Aquí se llevan a cabo las pruebas estadísticas de Chi-Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov.

Para ejecutar la prueba de *Chi-Cuadrado*, el sistema organiza los datos en una tabla de frecuencia y calcula la diferencia entre la frecuencia observada y la esperada para cada intervalo. La sumatoria de esas diferencias conforman la estadística de Chi-Cuadrado. Si esta prueba arroja un resultado grande (tolerancia < 0.05) significa que el modelo escogido no es el que mejor se ajusta al conjunto de datos introducidos inicialmente.

Para ejecutar la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*, el programa calcula la distancia máxima entre la frecuencia de tiempos de falla acumulativa y la frecuencia acumulativa teórica, la cual es dada por el modelo elegido. Si la distancia es lo suficientemente larga (tolerancia < 0.05) entonces la hipótesis del modelo escogido es rechazada.

7.5- Cálculos Ampliados.

Ejecuta un conjunto de cálculos empleados en estudios de confiabilidad (ver figura 7.2). Esos cálculos pueden ser ejecutados utilizando los parámetros supuestos por el programa (a través de la rutina de ajuste de distribución), o el usuario puede seleccionar un nuevo modelo de distribución y/o nuevos parámetros. Usando la ventana de cálculos ampliados se obtiene: tiempo promedio operativo (TPO), desviación estándar para los tiempos de falla, confiabilidad y tasa de riesgo para un tiempo t dado, tiempo estimado para un nivel de confiabilidad dado, gráficos para parámetros y modelo seleccionado y tiempos particulares para parámetros y modelo seleccionado.

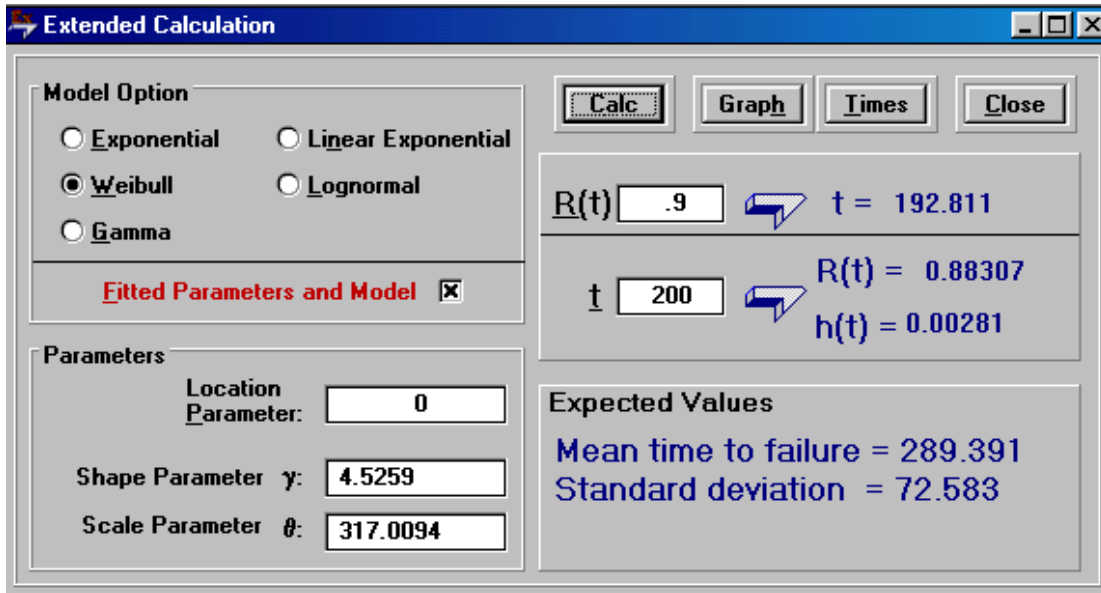


Figura 7.2 Ventana de Cálculos Ampliados

La ventana de cálculos ampliados está disponible desde el principio del sistema, puesto que no requiere de un archivo de datos ni de un previo ajuste de distribución.



CAPÍTULO VIII

Desarrollo del Plan de Mantenimiento.

8.1- Sinopsis.

Partiendo de haber adoptado como herramientas de confiabilidad operacional el MCC y el AC; el levantamiento de la información se realizó de la siguiente manera: observación directa del proceso y los equipos involucrados, consulta a los manuales de operación de los equipos y análisis de la data histórica de los equipos referente a los tiempos operativos y tiempos fuera de servicio, necesarios para determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a los mismos. Posteriormente se definió un equipo natural de trabajo, el cual se encargó inicialmente de elaborar un análisis de criticidad a todos los equipos del proceso productivo; luego, con los resultados de este estudio, se realizó un análisis de modos y efectos de falla y asignación de tareas de mantenimiento a los equipos críticos.

8.2- Jerarquización de la Planta.

Para lograr una clara delimitación, en cuanto al conjunto de equipos pertenecientes a la producción en la planta torrefactora Café Fama de América, se consideraron aspectos tales como:

- Fraccionar la planta en fases o etapas de producción, según el desarrollo del proceso productivo, a las que denominaremos *sistemas*.
- Al estar demarcados los sistemas, se indican los *equipos* que así lo conforman.
- Una vez seleccionado un sistema con sus equipos, el siguiente paso consiste en esclarecer los procesos de operación de cada uno de los equipos del sistema. Para ello se debe crear un Diagrama de Entrada– Proceso – Salida (EPS) a nivel de sistema (ver Anexos A).



8.3- Descripción de los Equipos.

8.3.1- Sistema de Recepción.

Máquina	Marca	Cap.	Tipo	n (rpm)	Marca ME	Pot ME (kW)	n ME (rpm)
Tolva de Recepción	Probat	14.5 T _{cv}	---	---	MES	0.75	60
Transporte de Cadenas	Probat	7.8 T _{cv} / h	---	---	MES	0.37	60
EC	Probat	7.8 T _{cv} / h	---	---	BBC	1.5	80
Máquina Limpiadora	Probat	7.8 T _{cv} / h	---	---	Jost	2.8	1160
Soplador HDF 150	Probat (Spellina)	8 T/ h	Vol.	1600	Schorch	22	3540
Soplador HDF 100 (2 unid)	Probat	4 T/ h	Vol.	1440	WEG	15	3540
Cambiavías	Probat (Emmerich)	---	Revólver	---	Jost	0.37	3600

Tabla 8.1 Sistema de Recepción

8.3.2- Sistema de Almacenamiento 100.

Máquina	Marca	Cap.	Tipo	n (rpm)	Marca ME	Pot ME (kW)	n ME (rpm)
Silos 100 (3 unid)	Probat	15 T	---	---	---	---	---
Balanza	Probat	490 Kg	---	---	---	---	---
Soplador HDF 200	Probat	24 T/ h	Vol.	1770	Schorch	37	3540
Cambiavías	Probat (Emmerich)	---	Revólver	---	Jost	0.44	3600

Tabla 8.2 Sistema de Almacenamiento 100



8.3.3- Sistema de Torrefacción.

Máquina	Marca	Cap. (T/ h)	Input (T _{CV} / h)	Output (T _{CT} / h)	Temp. De Tostado (K)
Tostadora 1	Probat	0.8	0.8	0.68	454
Tostadora 2	Probat	1.4	1.4	1.19	473
Tostadora 3	Probat	2	2	1.7	486
Tostadora 4	Probat	1.4	1.4	1.19	473
Tostadora 5	Probat	0.8	0.8	0.68	454

Tabla 8.3 Sistema de Torrefacción

8.3.4- Sistema de Transporte y Elevación.

Máquina	Marca	Cap. (T _{CT} / h)	Marca ME	Pot ME (kW)	n ME (rpm)
TEB 1	Probat	0.68	BBC	0.55	143
TEB 2	Probat	1.19	BBC	0.37	139
TEB 3	Probat	1.7	BBC	0.37	139
TEB 4	Probat	1.19	BBC	0.37	139
TEB 5	Probat	0.68	BBC	0.55	143
TEC 1	Gleason	5.44	BBC	0.75	71
EC	Gleason	5.44	BBC	0.56	100
TEC 2	Gleason	5.44	BBC	0.75	71

Tabla 8.4 Sistema de Transporte y Elevación



8.3.5- Sistema de Almacenamiento 200.

Máquina	Marca	Cap. (T)
Silos 200 (3 unid)	Probat	12.3
CD (3 unid)	Manufactura Propia	---

Tabla 8.5 Sistema de Almacenamiento 200

8.3.6- Sistema de Elevación y Transporte.

Máquina	Marca	Cap. (T_{CT}/h)	Marca ME	Pot ME (kW)	n ME (rpm)
ECL (3 unid)	SEB	12.3	BBC	1.5	100
TEC (3 unid)	Gleason	12.3	ABB	1.125	80

Tabla 8.6 Sistema de Elevación y Transporte

8.3.7- Sistema de Almacenamiento 300.

Máquina	Marca	Cap. (T)
Silos 300 (7 unid)	Probat	6

Tabla 8.7 Sistema de Almacenamiento 300

8.5.8- Sistema de Molienda.

Máquina	Marca	Cap. (T_{CM}/h)
Molino 1	Probat	1.17
Molino 2	Probat	1.74
Molino 3	Probat	1.40
Molino 4	Probat	1.17
Molino 5	Probat	1.56
Molino 6	Probat	0.60

Tabla 8.8 Sistema de Molienda

**8.3.9- Sistema de Transporte Mecánico - Neumático.**

Máquina	Marca	Cap.	n (rpm)	Marca ME	Pot ME (kW)	n ME (rpm)	Presión Vacio
TSF A (2 unid)	Probat	7.34 T _{CM} / h	140	BBC	1.125	1500	---
Tolvas 1 y 2	Probat	25 Kg	---	---	---	---	---
BV (7 unid)	AZO	---	1770	Schorch	37	3540	20 Mbar
Esclusas 1 y 2	Probat	---	---	---	---	---	---
TSF B (2 unid)	Probat	7.34 T _{CM} / h	180	Niord	4	1700	---

Tabla 8.9 Sistema de Transporte Mecánico - Neumático**8.3.10 - Sistema de Almacenamiento 400.**

Máquina	Marca	Cap. (T)
Silos 400 (6 unid)	Probat	7
Esclusas 1, 2 y 3	Probat	---

Tabla 8.10 Sistema de Almacenamiento 400**8.3.11- Sistema de Empaque.**

• Línea 1

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
11	Rovema	Empacadora	87	TSF	Papeletas	50gr 100gr
12	Rovema	Empacadora	87	TSF	Papeletas	50gr 100gr
13	Rovema	Agrupadora	---	---	Fardos	10 Kg

Tabla 8.11 Sistema de Empaque Línea 1



• Línea 2.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
2	Rovema	Empacadora	36	Vaso Volumétrico	Paquetes	200gr 250gr
3	Rovema	Empacadora	34	Vaso Volumétrico	Paquetes	200gr 250gr
4	Rovema	Empacadora	60	TSF	Paquetes	200gr 250gr
17	Favema	Agrupadora	---	---	Fardos	5 Kg

Tabla 8.12 Sistema de Empaque Línea 2

• Línea 4.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
6	Rovema	Empacadora	28	Vaso Volumétrico	Paquetes	500 gr
7	Rovema	Empacadora	54	TSF	Paquetes	500 gr
15	Favema	Agrupadora	---	---	Fardos	5 Kg 3 Kg

Tabla 8.13 Sistema de Empaque Línea 4

• Línea 5.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
8	Rovema	Empacadora	60	TSF	Paquetes	200 gr 250 gr
9	Rovema	Empacadora	60	TSF	Paquetes	200 gr 250 gr
14	Favema	Agrupadora	---	---	Fardos	5 Kg 3 Kg

Tabla 8.14 Sistema de Empaque Línea 5



• Línea 6.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
10	Indosa	Enlatadora Agrupadora	15	TSF	Latas	400 gr

Tabla 8.15 Sistema de Empaque Línea 6

• Línea 7.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
19	Rovema	Empacadora	30	Vaso Volumétrico	Paquetes	1000 gr

Tabla 8.16 Sistema de Empaque Línea 7

• Línea 8.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
18	Rovema	Empacadora (café tostado)	24	Vaso Volumétrico	Paquetes (granos)	500 gr 1000 gr

Tabla 8.17 Sistema de Empaque Línea 8

• Línea 9.

Máquina	Marca	Clase	Velocidad (gpm)	Dosificación	Formato	Peso Producto
1-A	Flexiflow	Empacadora	110	TSF	Papeletas	50 gr 100 gr
1-B	Flexiflow	Empacadora	110	TSF	Papeletas	50 gr 100 gr
1-C	Fabrima	Agrupadora	---	---	Fardos	1 Kg

Tabla 8.18 Sistema de Empaque Línea 9



• Videojet.

Máquina	Marca	Rango de Temperatura (K)	Rango de Humedad (%)	Presión de Aire (bar)	Peso (Kg)
Equipo Móvil	Excel Series 270 i	24	10 - 90	4.8 min. 6.9 máx.	220

Tabla 8.19 Sistema de Empaque Videojet

• Tornillos Sin Fin y Tolvas

Máquina	Marca	Cap.	n (rpm)	Marca ME	Pot ME (kW)	n ME (rpm)
TSF 1	Probat	3.5 T _{CM} / h	100	Niord	2.2	1770
TSF 2	Probat	2.2 T _{CM} / h	80	Niord	3	1770
TSF 3	Probat	5.8 T _{CM} / h	120	Niord	2.2	1770
TSF 4	Probat	2.2 T _{CM} / h	80	Niord	3	1770
TSF 5	Probat	1.2 T _{CM} / h	60	Niord	4	1770
TSF 6	Probat	0.6 T _{CM} / h	60	Niord	1.5	1770
TSF 7	Probat	0.6 T _{CM} / h	60	Niord	1.5	1770
Tolvas 500 (11 unid)	Probat	240 Kg	---	---	---	---

Tabla 8.20 Sistema de Empaque Tornillos Sin Fin y Tolvas



8.4- Evaluación de la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.

A partir de datos de paradas de falla , utilizados en la empresa para llevar un control por parte del departamento de producción, se realizaron los cálculos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Los datos utilizados pertenecen a los años 2001 y 2002, estos representan horas de paradas mensual (tiempo fuera de servicio) u horas operativas de las máquinas (tiempo operativo) dependiendo de cual de los indicadores se esté evaluando.

Mediante el apoyo del software “Relest” se obtuvieron los valores para la confiabilidad y mantenibilidad. En el capítulo anterior se explicó con detenimiento el programa utilizado, sin embargo se debe aclarar que el mismo también fue utilizado para el cálculo de la mantenibilidad (“Relest” sólo calcula confiabilidad), esto se justifica de la siguiente manera:

1. Al introducir los tiempos operativos, que están limitados por la **presencia de falla**, el programa realiza un histograma de frecuencias relativas.
2. El programa realiza dos pruebas estadísticas, Kolmogorov-Smirnov y Chi cuadrado, evaluando cual de las distribuciones se ajusta mejor al histograma de frecuencias relativas y así poder definir la curva $f(t)$ función densidad.
3. Con el área bajo la curva de la función densidad, o con la integral de $f(t)$ se define $F(t)$, esta se conoce como curva de probabilidad de ocurrencia de falla.
4. Luego al restarle a la unidad el valor de $F(t)$ obtenemos la confiabilidad, $R(t) = 1 - F(t)$.

Ahora al introducir los tiempos fuera de servicio, que están limitados por la **reparación**, el programa seguirá la lógica antes descrita pero ahora $F(t)$ será la curva de probabilidad de ocurrencia de reparación, que para el usuario sería la mantenibilidad. Entonces al restarle a la unidad el resultado final $R(t)$ obtendremos la Mantenibilidad **$F(t) = 1 - R(t)$** .



1. Sistema Molienda

• Molino 1

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

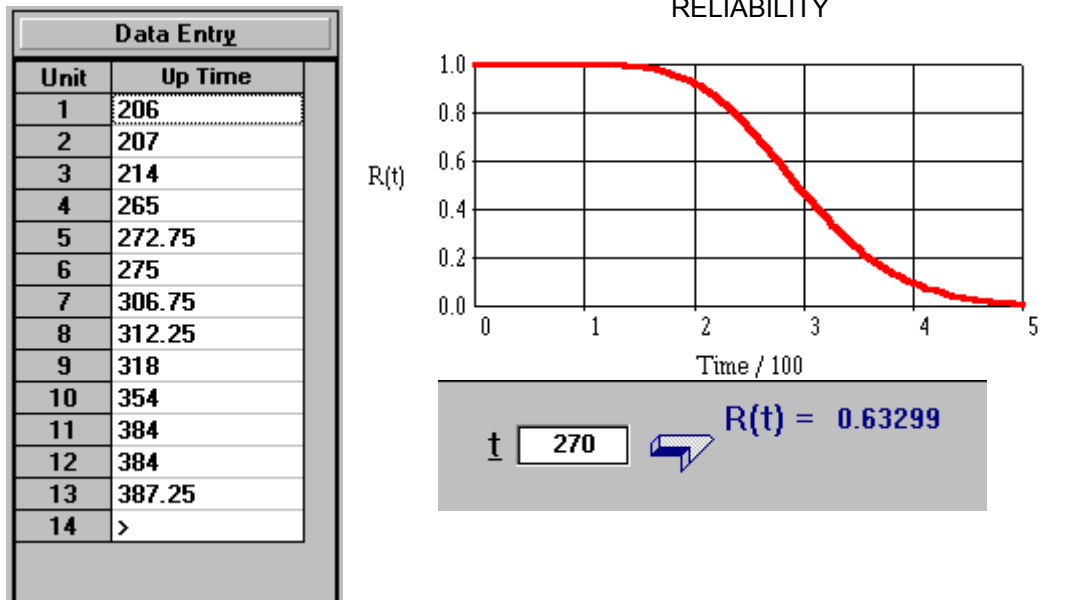


Figura 8.1 Confiabilidad Molino 1

- Mantenibilidad (Distribución Exponencial)

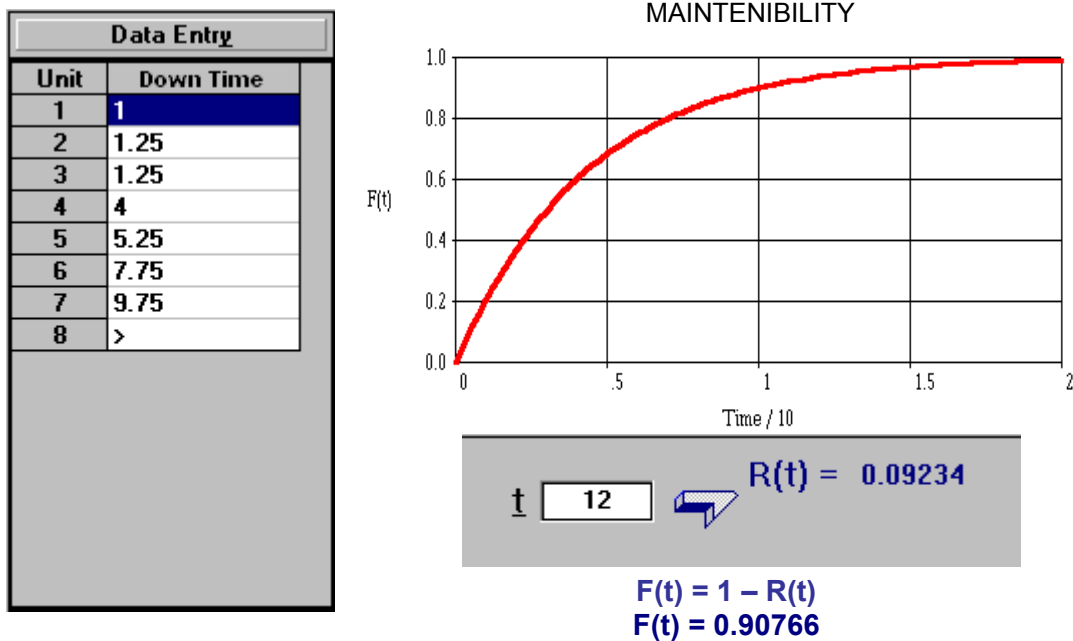


Figura 8.2 Mantenibilidad Molino 1



• Molino 2

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	207
2	207.25
3	211.75
4	259
5	259.75
6	279
7	311.75
8	317.25
9	319
10	346.75
11	382.25
12	384
13	401.5
14	>

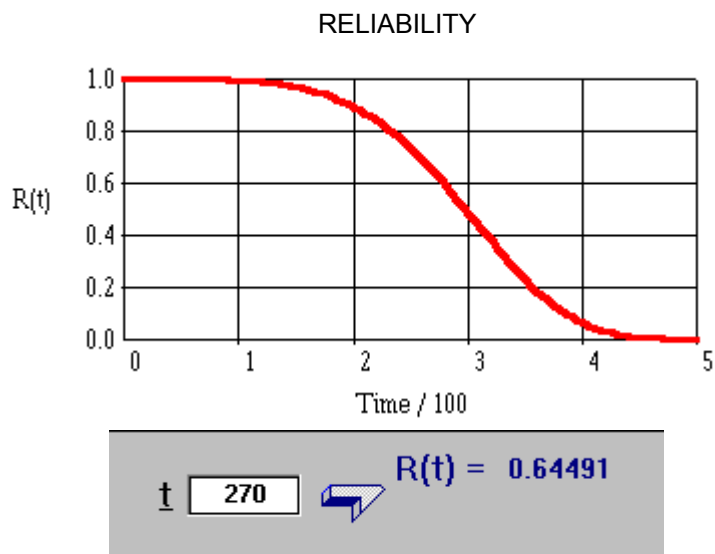


Figura 8.3 Confiabilidad Molino 2

- Mantenibilidad (Distribución Log-normal)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	.25
2	.75
3	.75
4	1
5	1.5
6	1.75
7	2.25
8	5.25
9	7.25
10	16
11	>

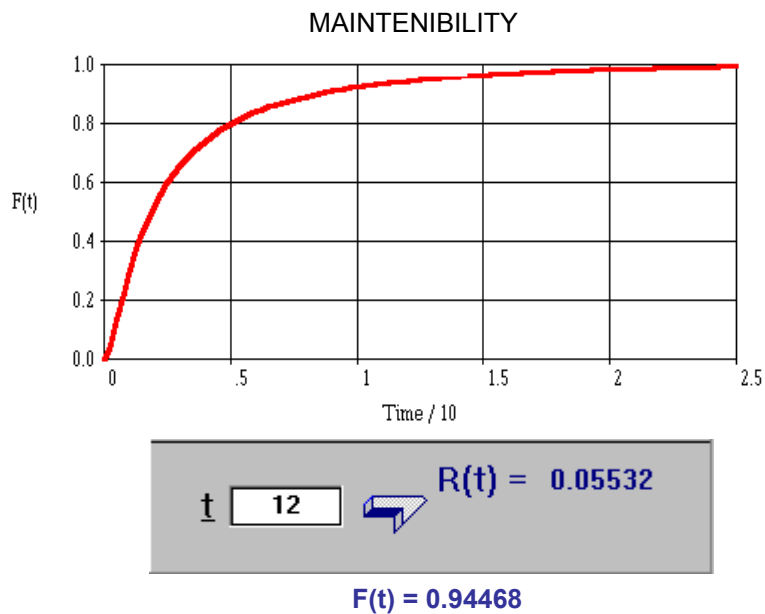


Figura 8.4 Mantenibilidad Molino 2

• Molino 3

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

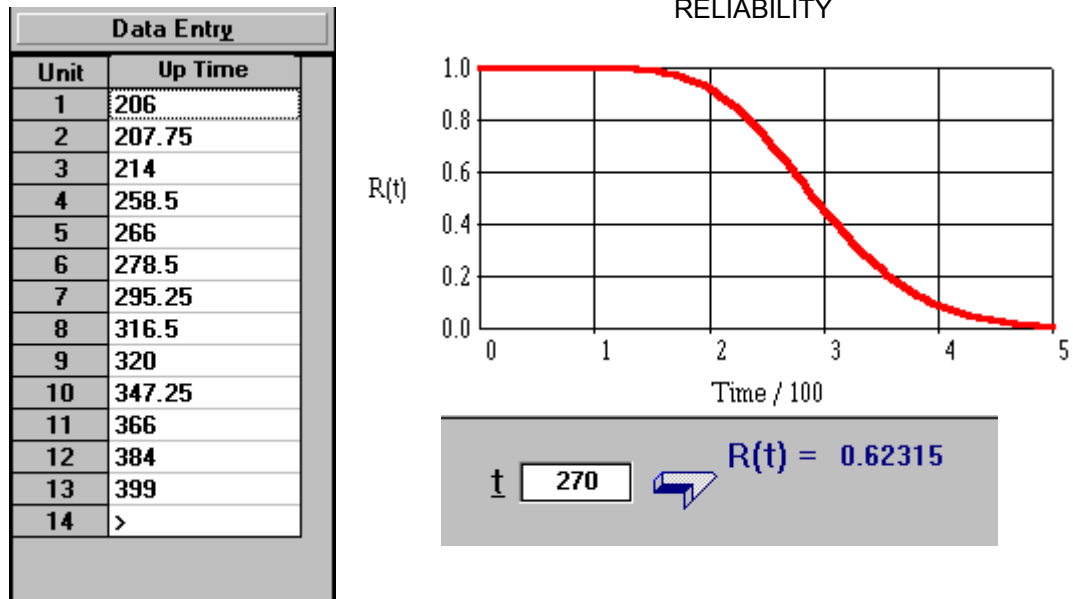


Figura 8.5 Confiabilidad Molino 3

- Mantenibilidad (Distribución Gamma)

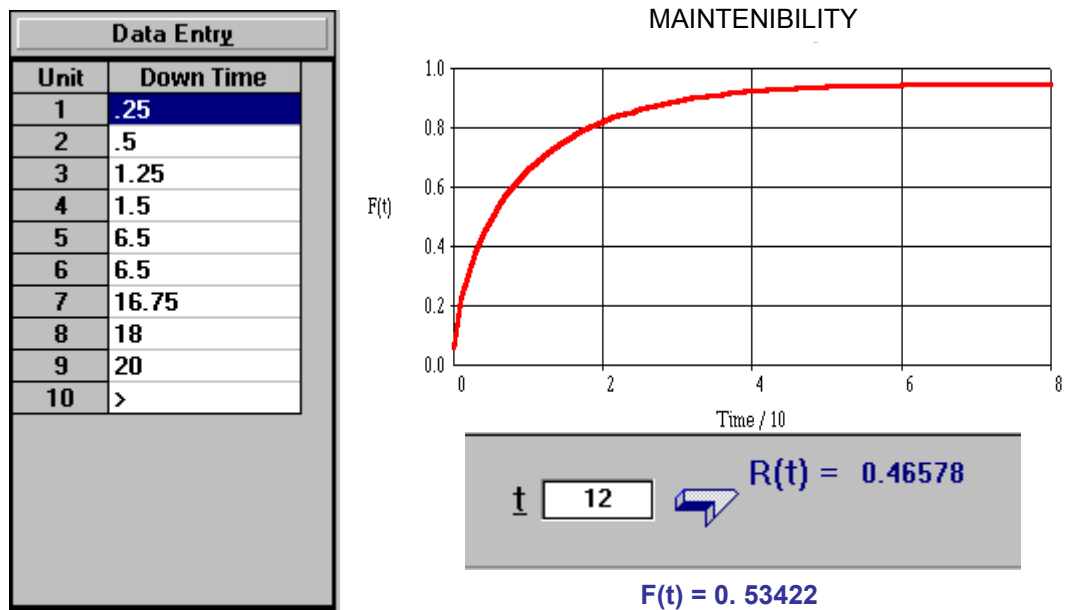


Figura 8.6 Mantenibilidad Molino 3



• Molino 4

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

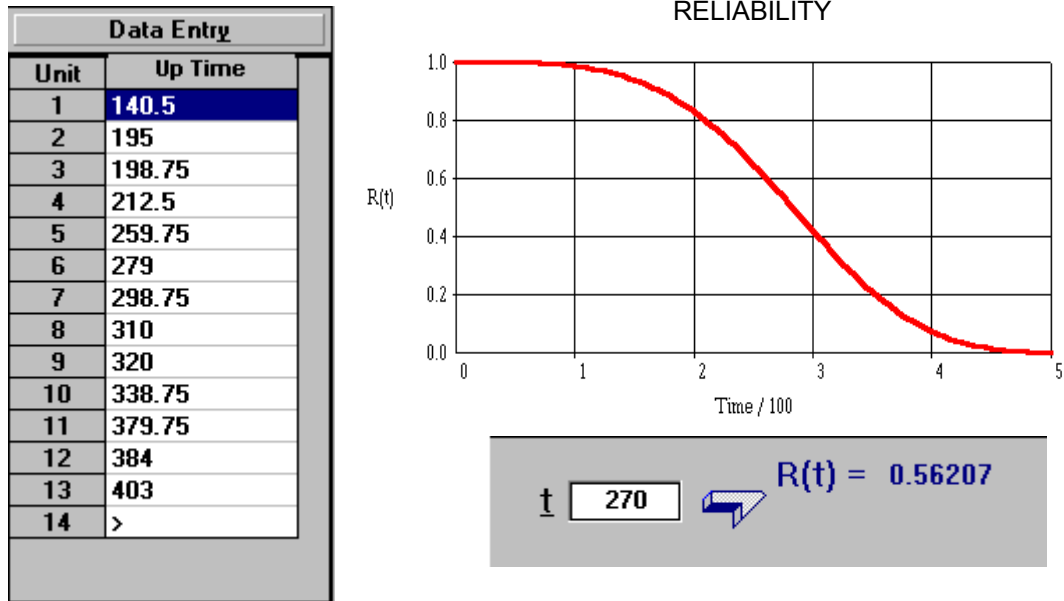


Figura 8.7 Confiabilidad Molino 4

- Mantenibilidad (Distribución Exponencial)

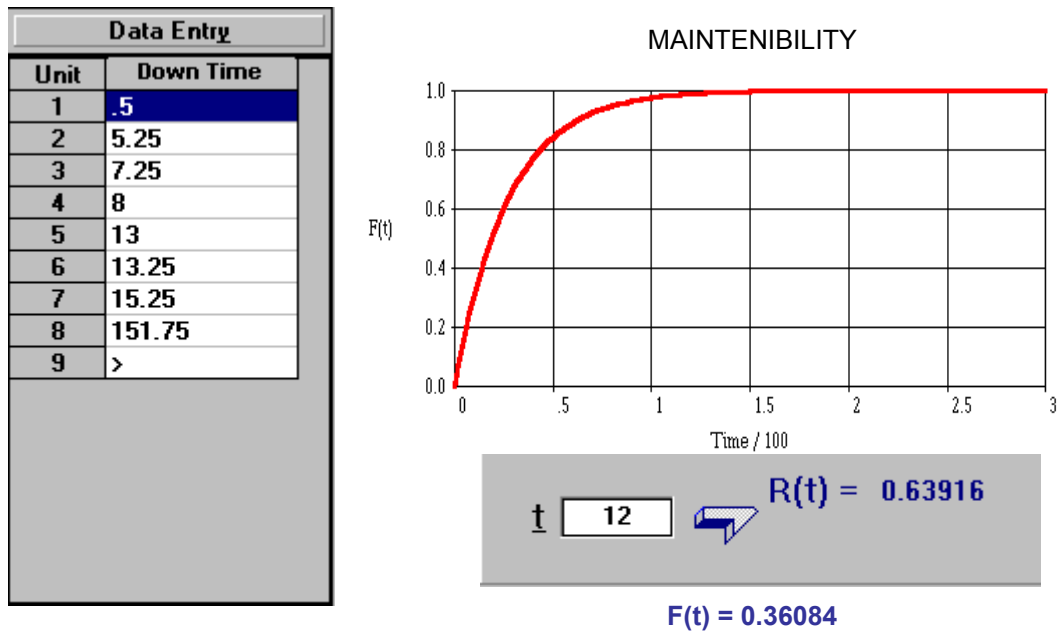


Figura 8.8 Mantenibilidad Molino 4

• Molino 5

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	206
2	207.25
3	214
4	263
5	265
6	274
7	279
8	312
9	317.75
10	318
11	380.75
12	384
13	403
14	>

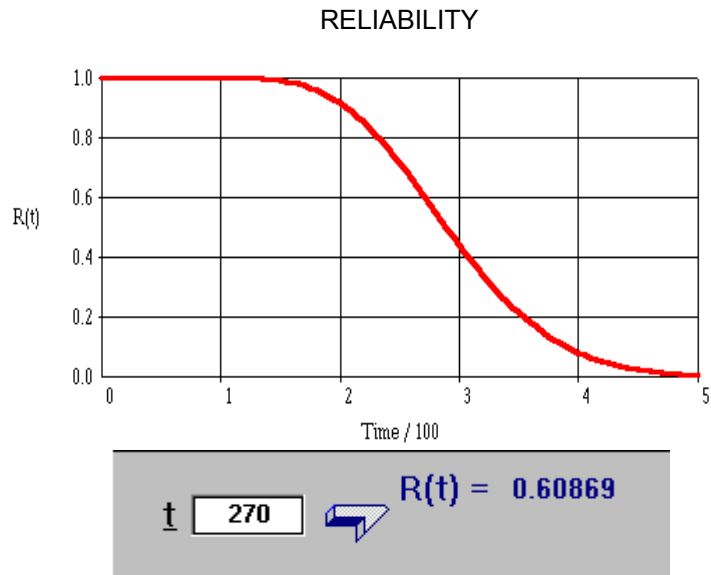


Figura 8.9 Confiabilidad Molino 5

- Mantenibilidad (Distribución Exponencial)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	.75
2	1.25
3	2
4	3.25
5	10.75
6	92
7	>

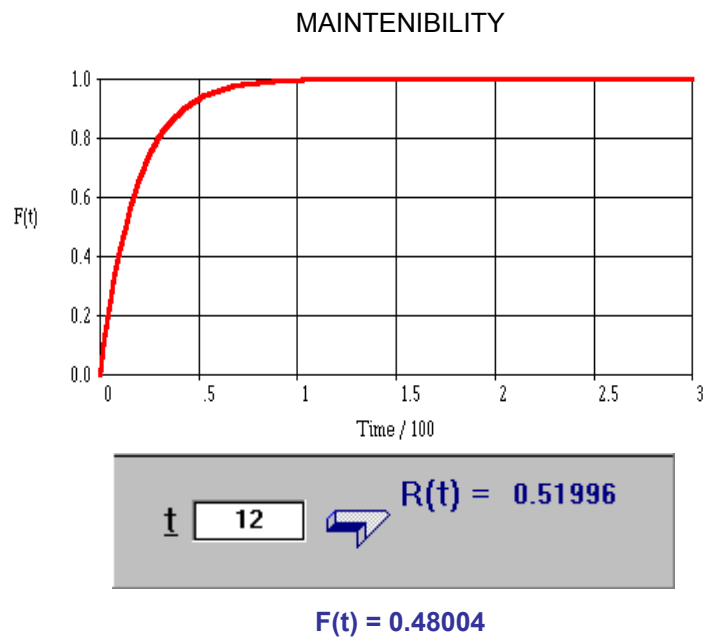


Figura 8.10 Mantenibilidad Molino 5



• Molino 6

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	208
2	208
3	214
4	251.5
5	260
6	274
7	294.75
8	308.75
9	318
10	354
11	365.5
12	382.5
13	384
14	>

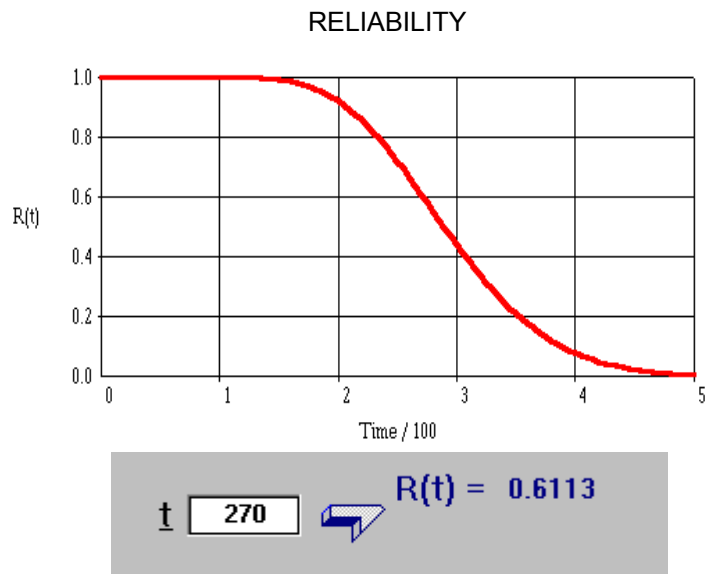


Figura 8.11 Confiabilidad Molino 6

- Mantenibilidad (Distribución Exponencial)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	1.5
2	5
3	11.25
4	17.25
5	27.5
6	37.5
7	>

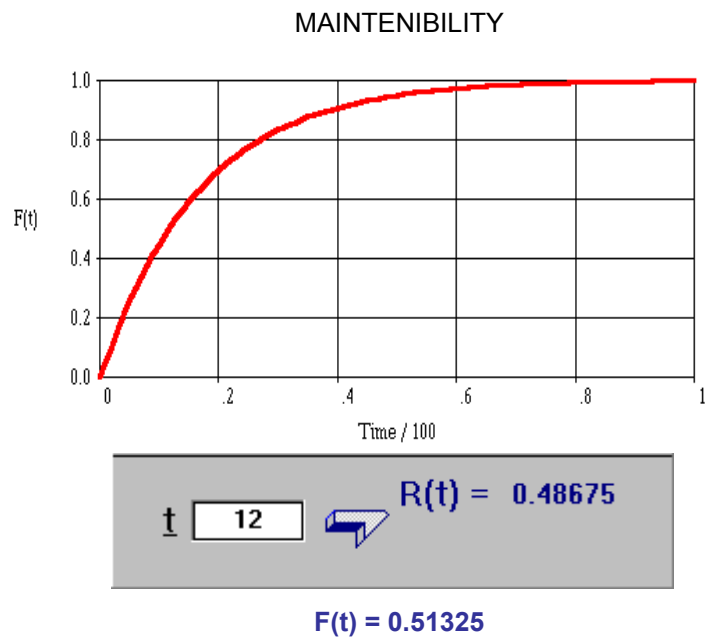


Figura 8.12 Mantenibilidad Molino 6

2. Sistema Empaque

Línea 1:

• Máquina Empacadora 11

- Confiabilidad (Distribución Log-normal)

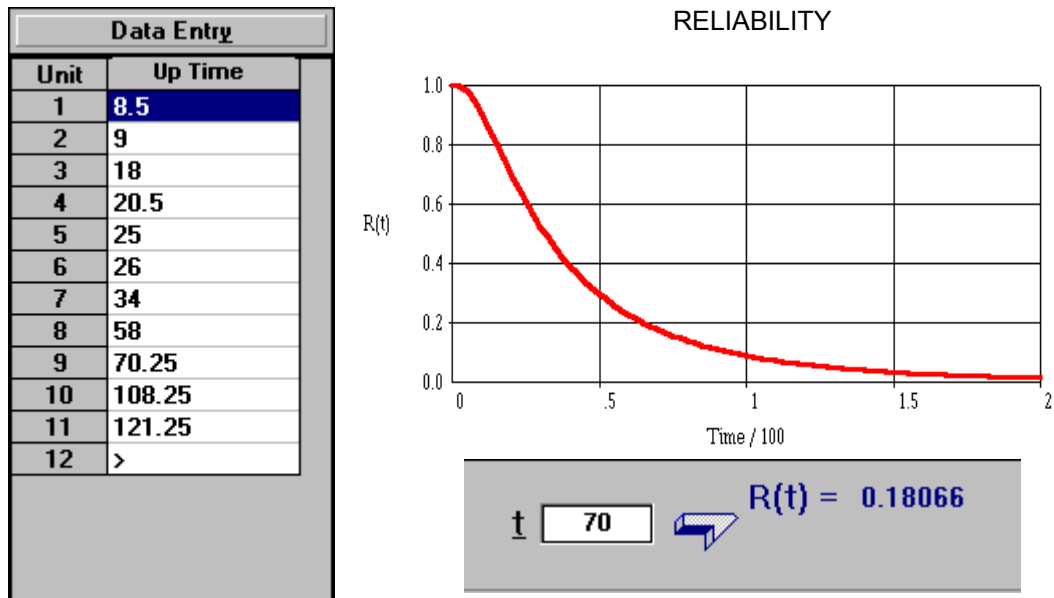


Figura 8.13 Confiabilidad Máquina Empacadora 11

- Mantenibilidad (Distribución Log-normal)

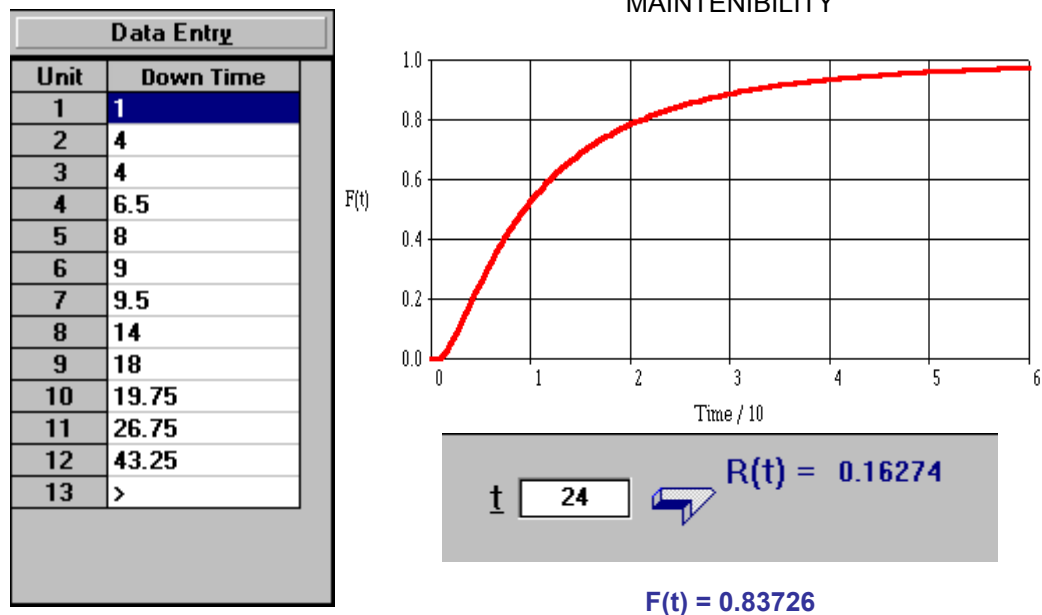


Figura 8.14 Mantenibilidad Máquina Empacadora 11



• Máquina Empacadora 12

- Confiabilidad (Distribución Log-normal)

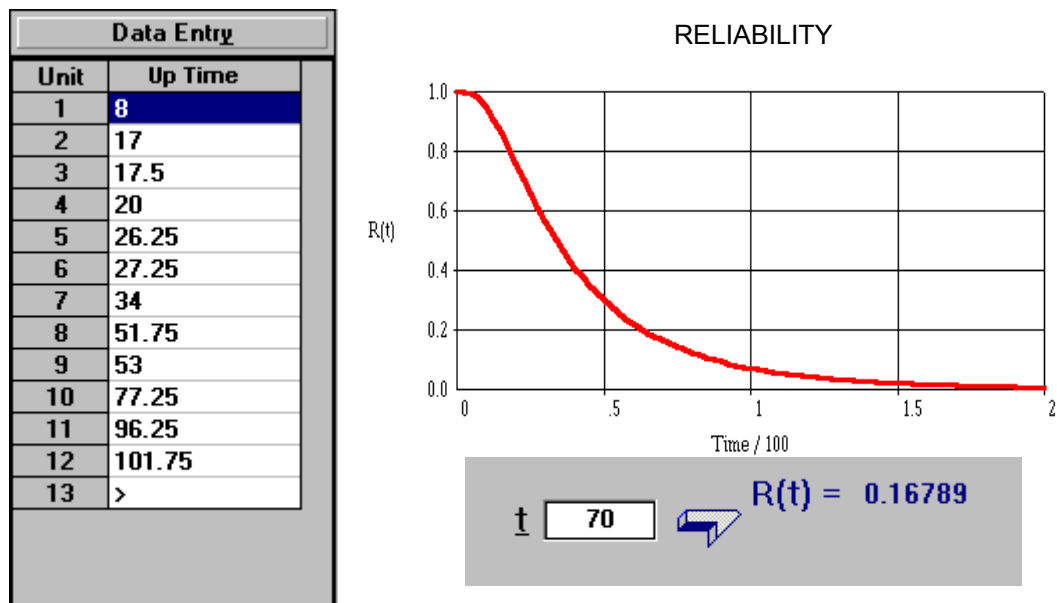


Figura 8.15 Confiabilidad Máquina Empacadora 12

- Mantenibilidad (Distribución Log-normal)

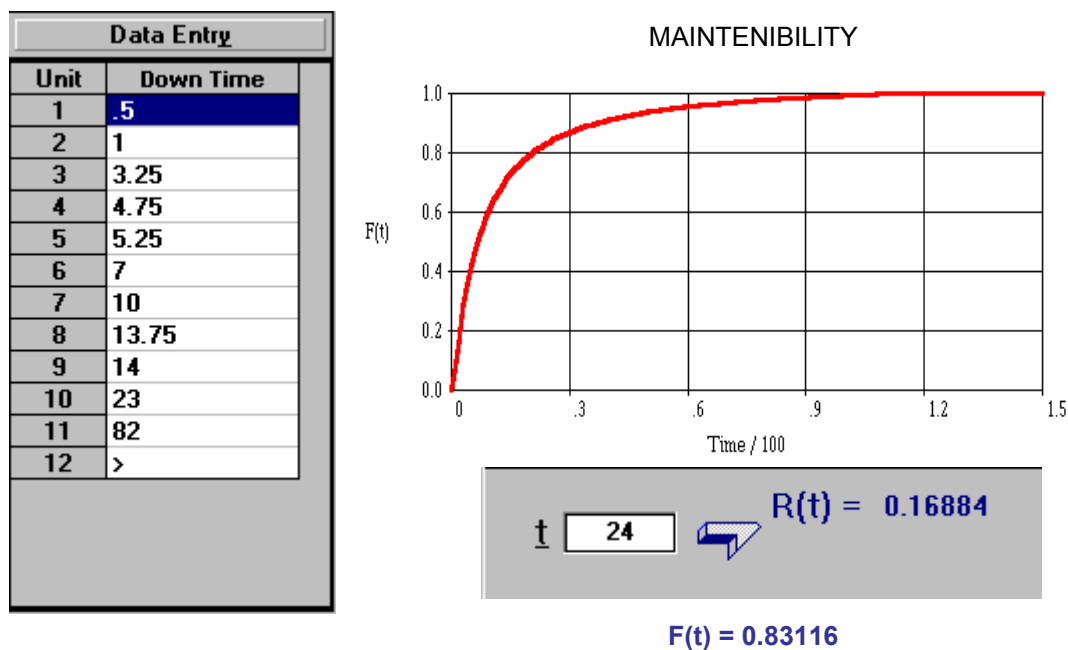


Figura 8.16 Mantenibilidad Máquina Empacadora 12

• Máquina Agrupadora 13

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

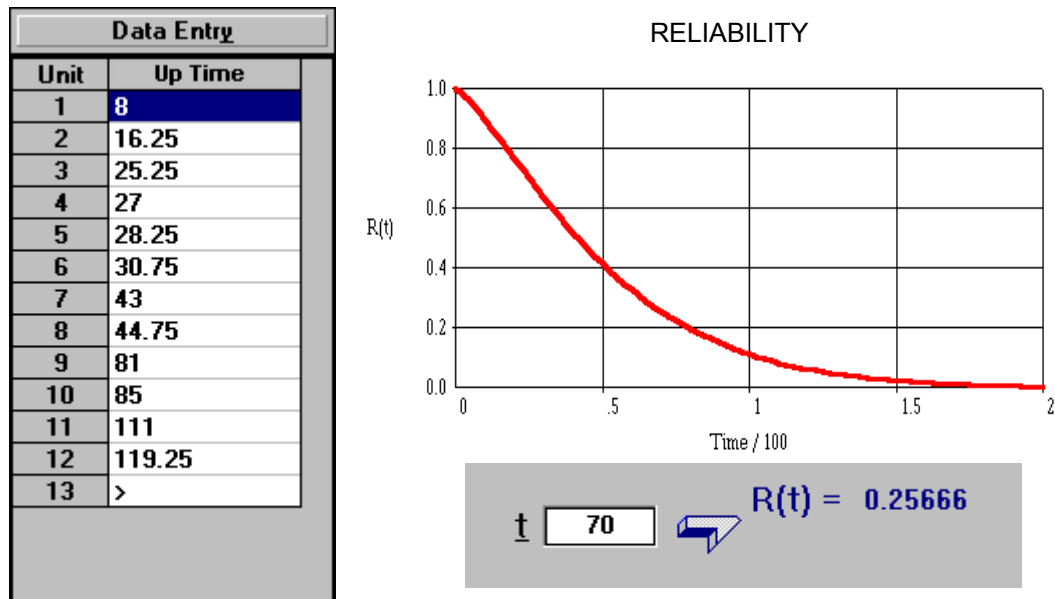


Figura 8.17 Confiabilidad Máquina Agrupadora 13

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

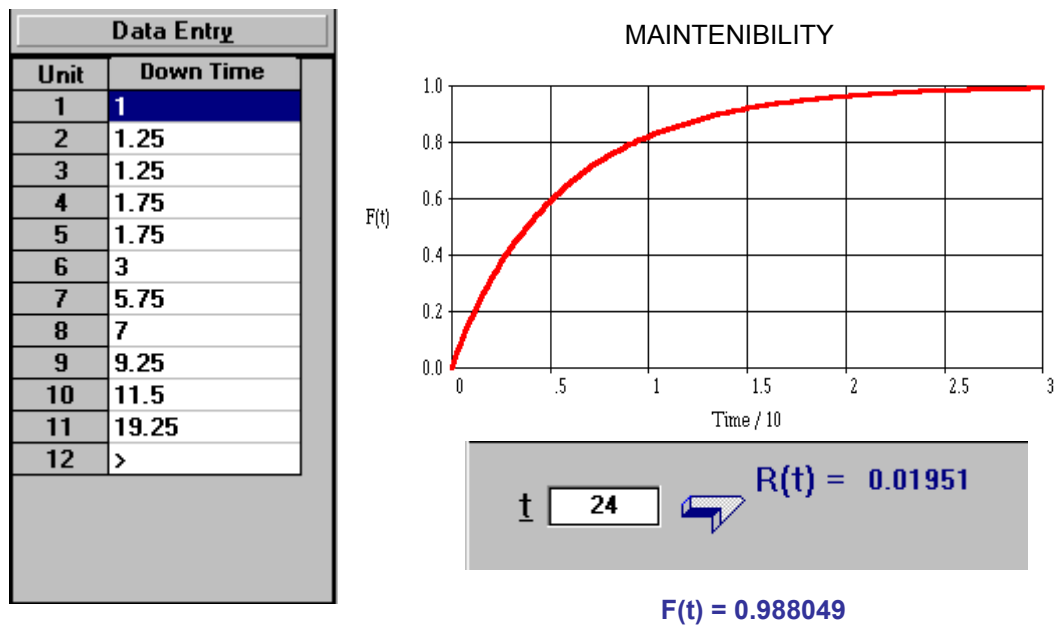


Figura 8.18 Mantenibilidad Máquina Agrupadora 13

Línea 2:

• **Máquina Empacadora 2**

- *Confiabilidad (Distribución Weibull)*

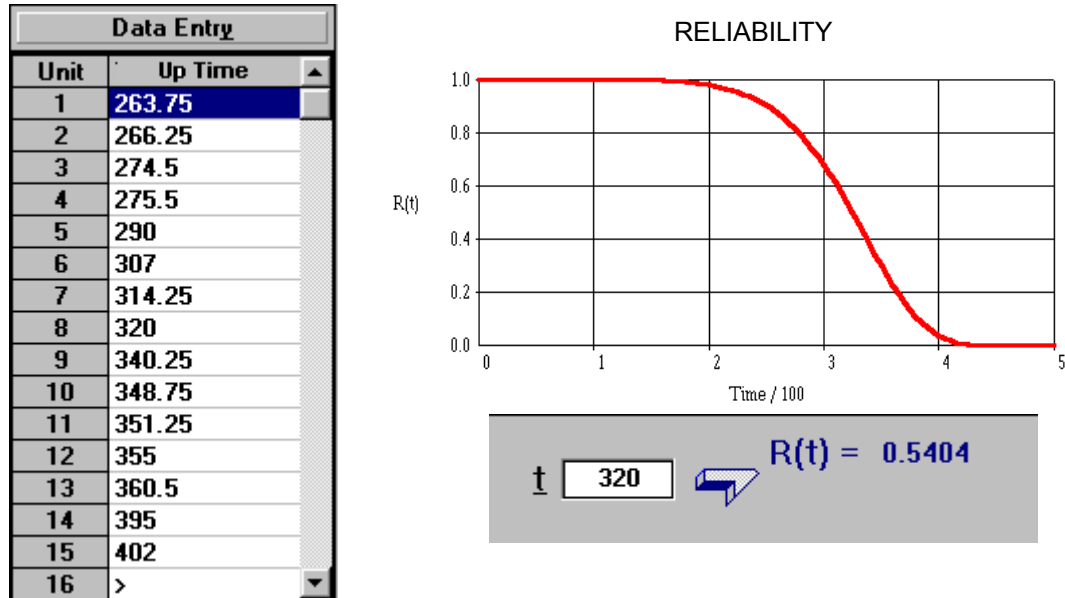


Figura 8.19 Confiabilidad Máquina Empacadora 2

- *Mantenibilidad (Distribución Log-normal)*

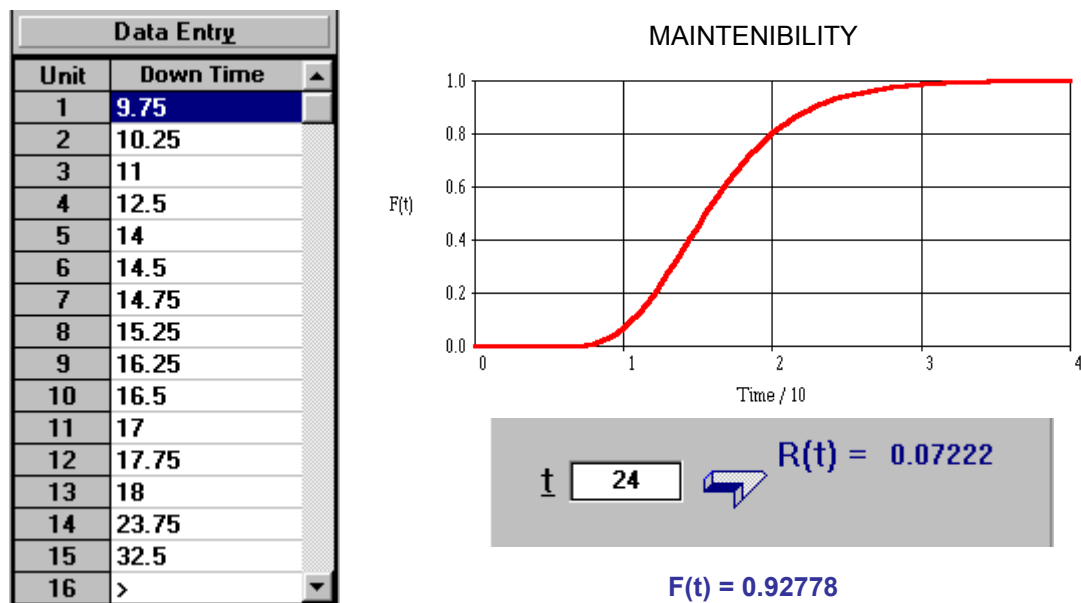


Figura 8.20 Mantenibilidad Máquina Empacadora 2

• Máquina Empacadora 3

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

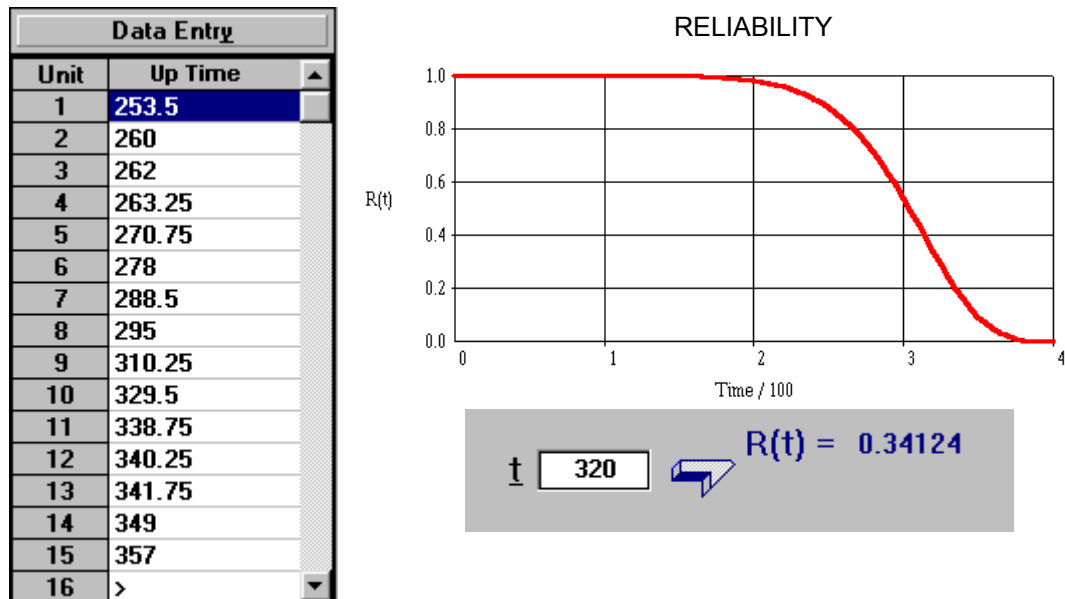


Figura 8.21 Confiabilidad Máquina Empacadora 3

- Mantenibilidad (Distribución Log-normal)

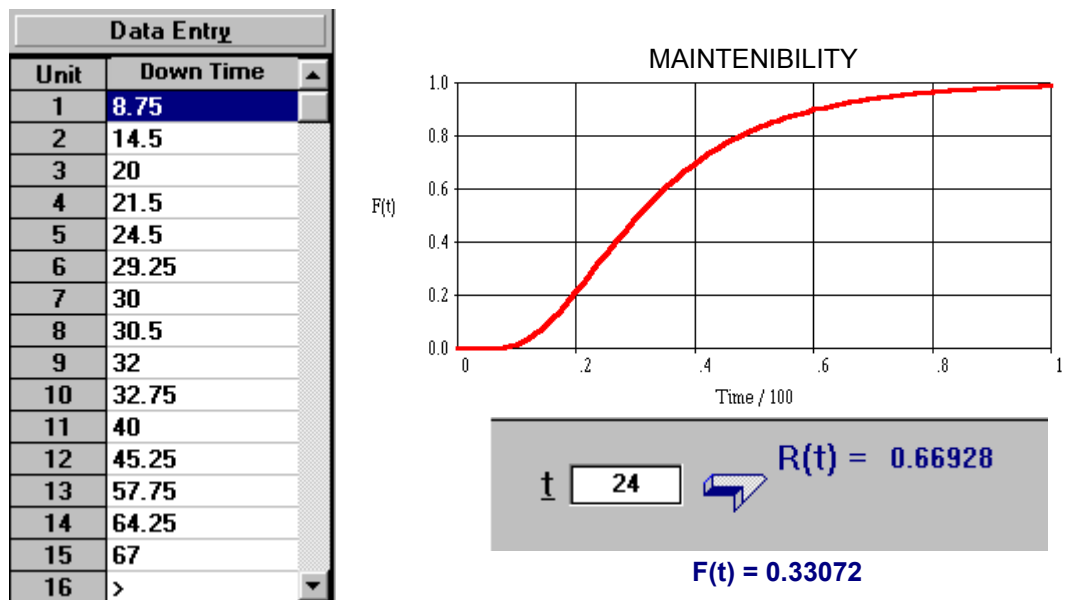


Figura 8.22 Mantenibilidad Máquina Empacadora 3

• Máquina Empacadora 4

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

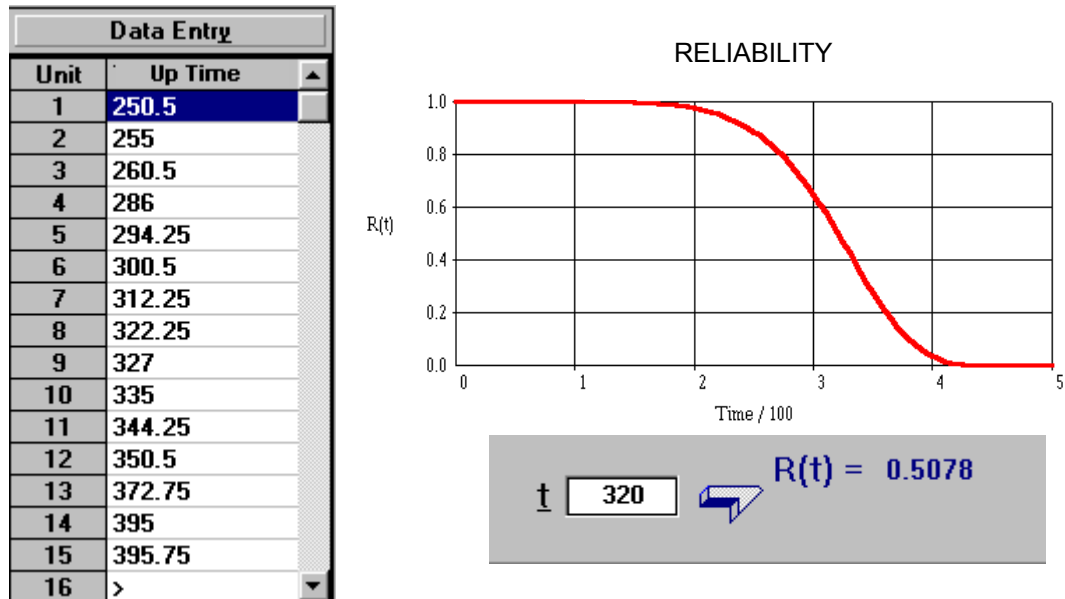


Figura 8.23 Confiabilidad Máquina Empacadora 4

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

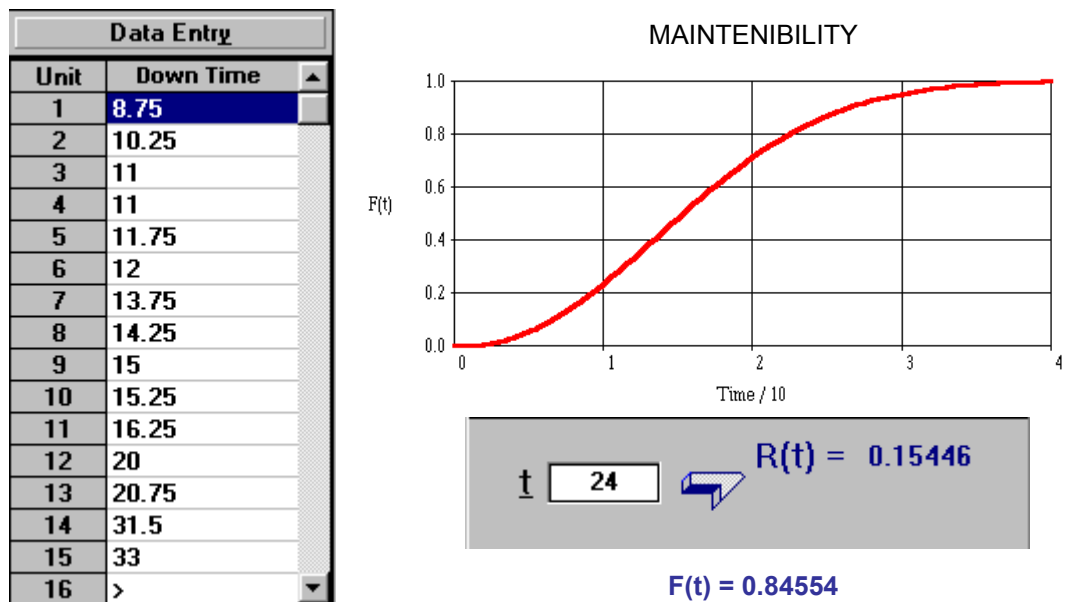


Figura 8.24 Mantenibilidad Máquina Empacadora 4



• Máquina Agrupadora 17

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	274.5
2	276.25
3	279.34
4	298.25
5	300
6	305
7	325.25
8	345.25
9	349.5
10	361
11	363.25
12	366.75
13	381.25
14	400
15	402.75
16	>

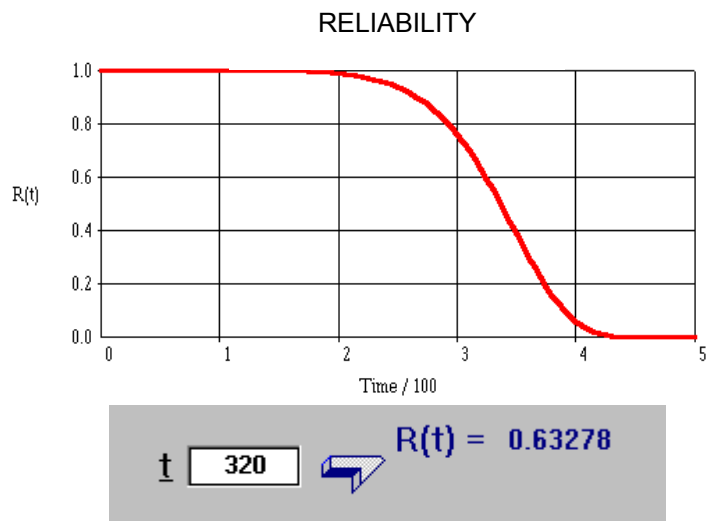


Figura 8.25 Confiabilidad Máquina Agrupadora 17

- Mantenibilidad (Distribución Log-normal)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	.75
2	1.25
3	1.75
4	1.75
5	1.75
6	2.25
7	3
8	3
9	3.25
10	3.25
11	3.5
12	4
13	4
14	4.25
15	13.75
16	>

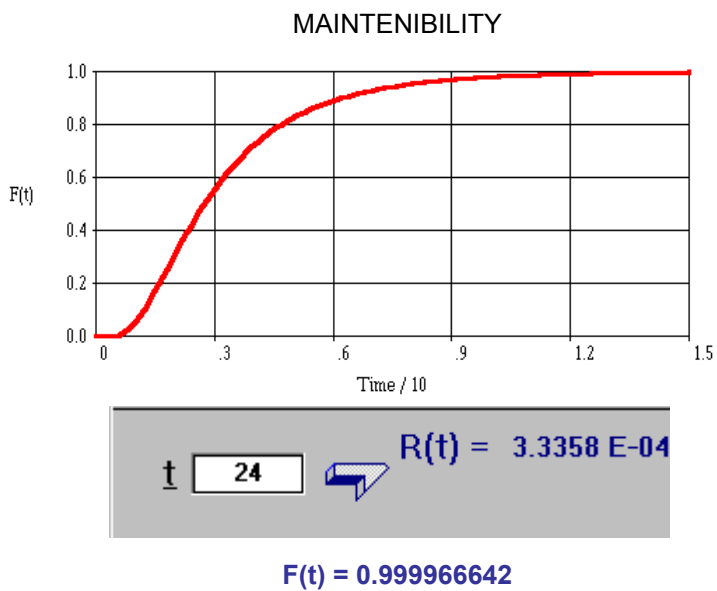


Figura 8.26 Mantenibilidad Máquina Agrupadora 17

Línea 4:

• **Máquina Empacadora 6**

- *Confiabilidad (Distribución Weibull)*

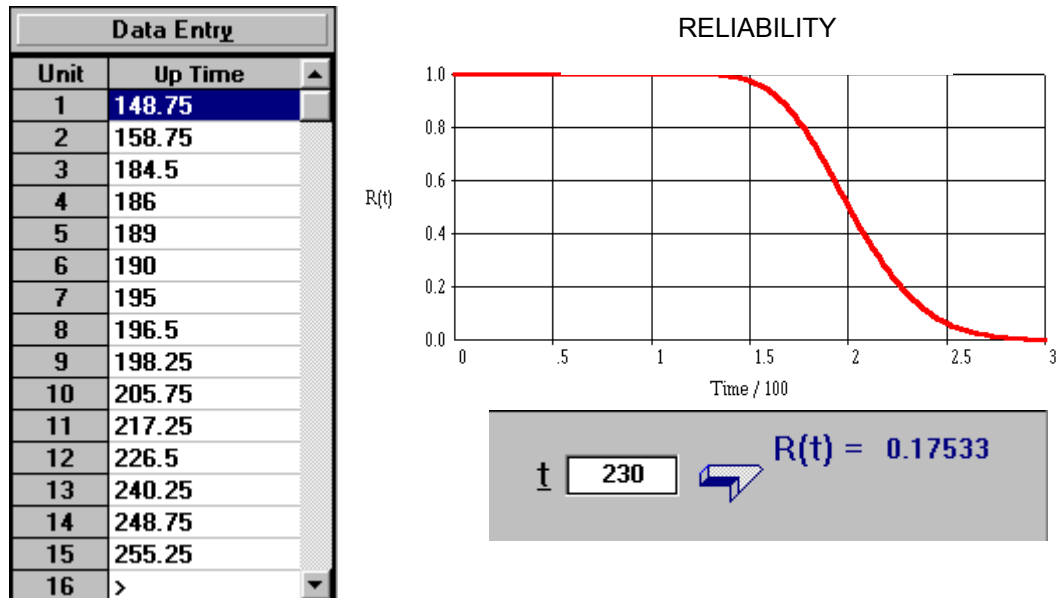


Figura 8.27 Confiabilidad Máquina Empacadora 6

- *Mantenibilidad (Distribución Weibull)*

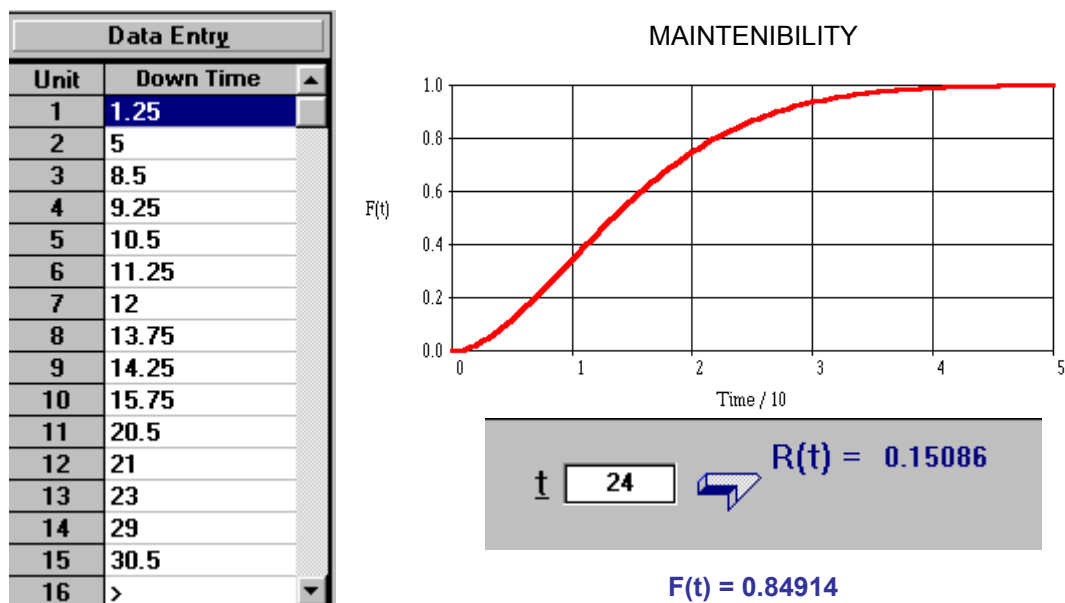


Figura 8.28 Mantenibilidad Máquina Empacadora 6



• Máquina Empacadora 7

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	148.75
2	171.5
3	191.5
4	196
5	203.25
6	204.25
7	207.5
8	207.5
9	209.5
10	213.75
11	221.5
12	232.75
13	243
14	254.25
15	261.75
16	>

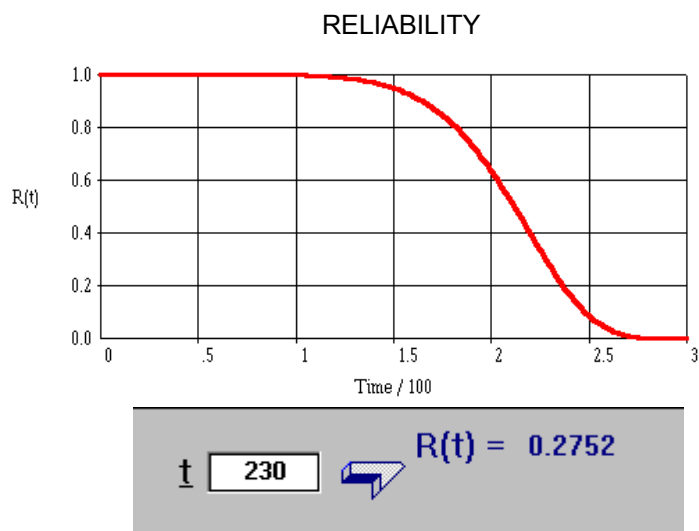


Figura 8.29 Confiabilidad Máquina Empacadora 7

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	1.5
2	4.25
3	4.75
4	6.25
5	8
6	9.25
7	9.5
8	9.75
9	10
10	10.25
11	12
12	12.5
13	14.25
14	15.25
15	16.75
16	>

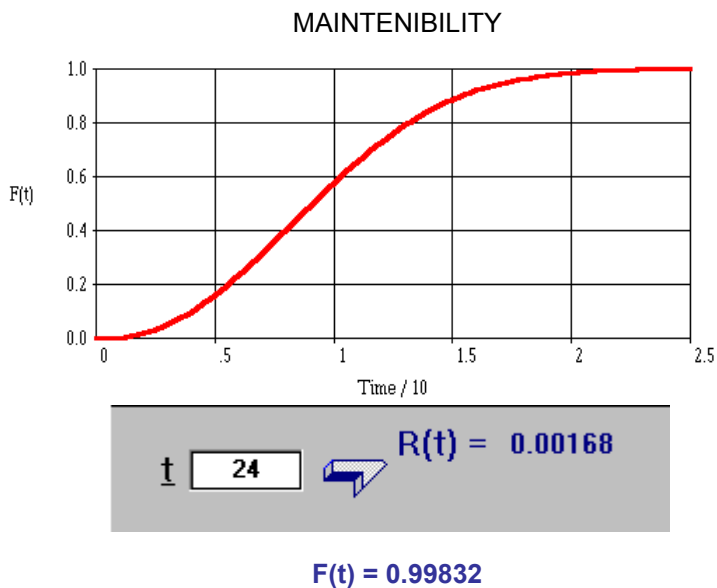


Figura 8.30 Mantenibilidad Máquina Empacadora 7



• Máquina Agrupadora 15

- Confiabilidad (Distribución Log-normal)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	163.25
2	167
3	169.5
4	198
5	202.5
6	206.25
7	208.5
8	209.5
9	213.5
10	214
11	214.75
12	224
13	239.75
14	255
15	258.5
16	>

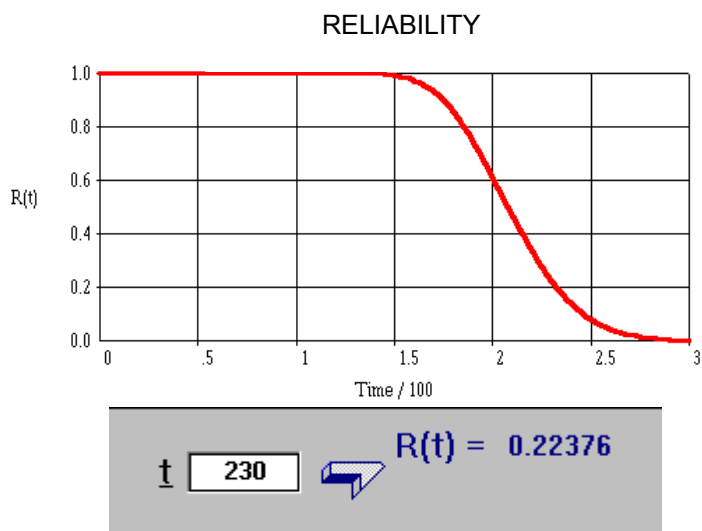


Figura 8.31 Confiabilidad Máquina Agrupadora 15

- Mantenibilidad (Distribución Exponencial)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	.5
2	.5
3	.75
4	1.25
5	2.25
6	2.5
7	3
8	5
9	7.5
10	8
11	8
12	8.25
13	10.25
14	11.75
15	>

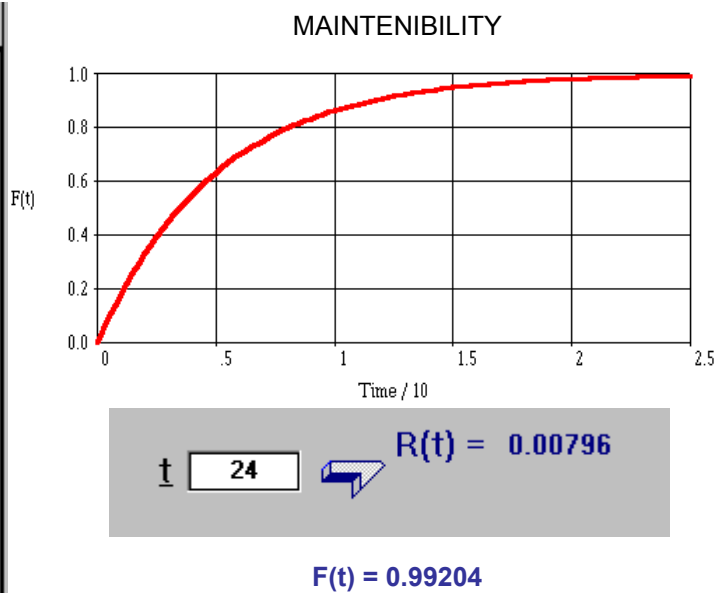


Figura 8.32 Mantenibilidad Máquina Agrupadora 15

Línea 5:

• **Máquina Empacadora 8**

- *Confiabilidad (Distribución Weibull)*

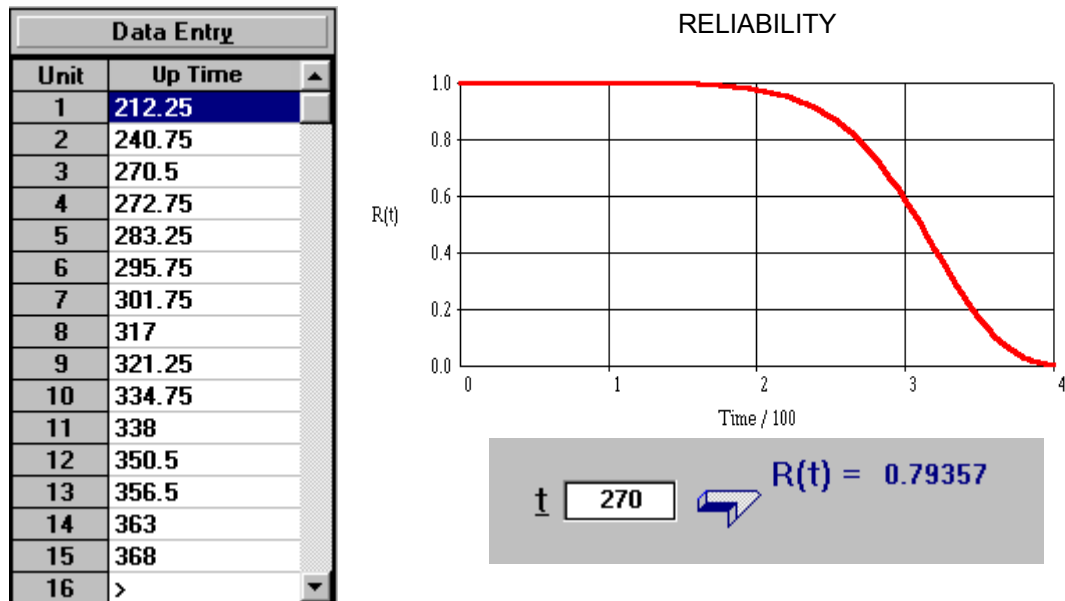


Figura 8.33 Confiabilidad Máquina Empacadora 8

- *Mantenibilidad (Distribución Gamma)*

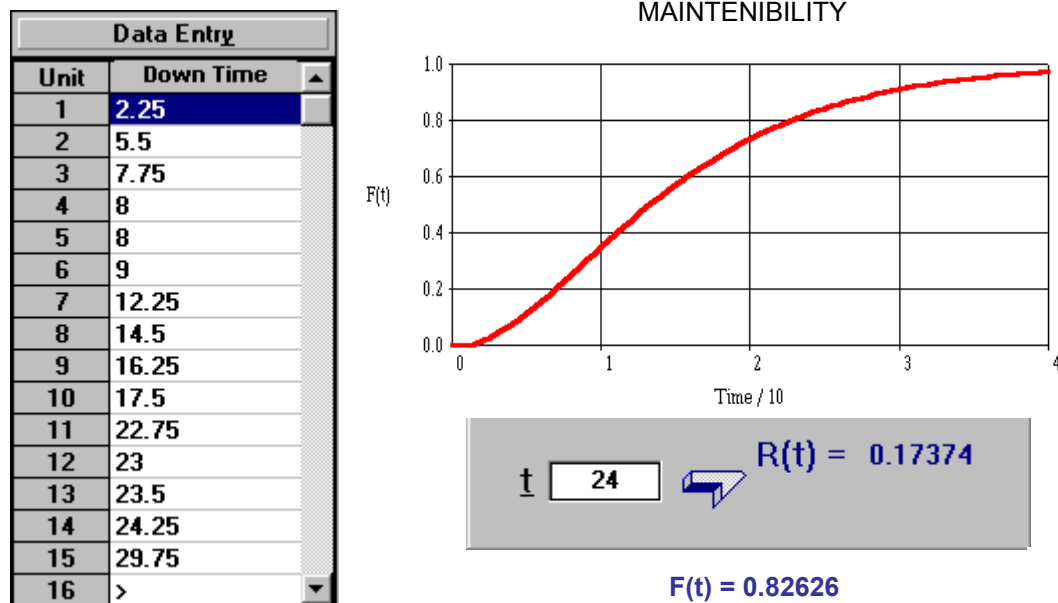


Figura 8.34 Mantenibilidad Máquina Empacadora 8

• Máquina Empacadora 9

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

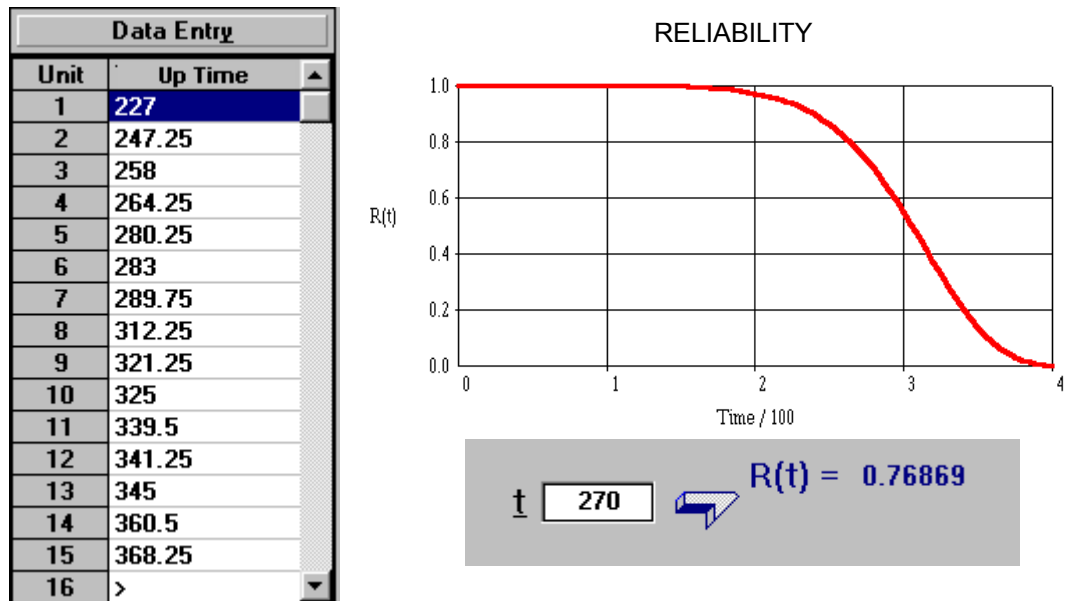


Figura 8.35 Confiabilidad Máquina Empacadora 9

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

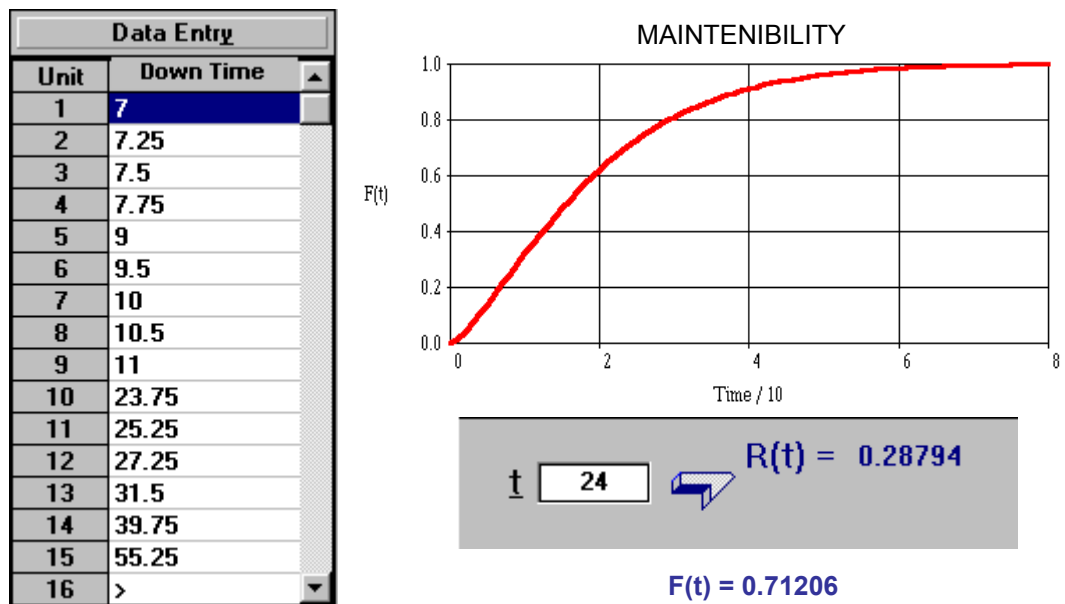


Figura 8.36 Mantenibilidad Máquina Empacadora 9

• Máquina Agrupadora 14

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

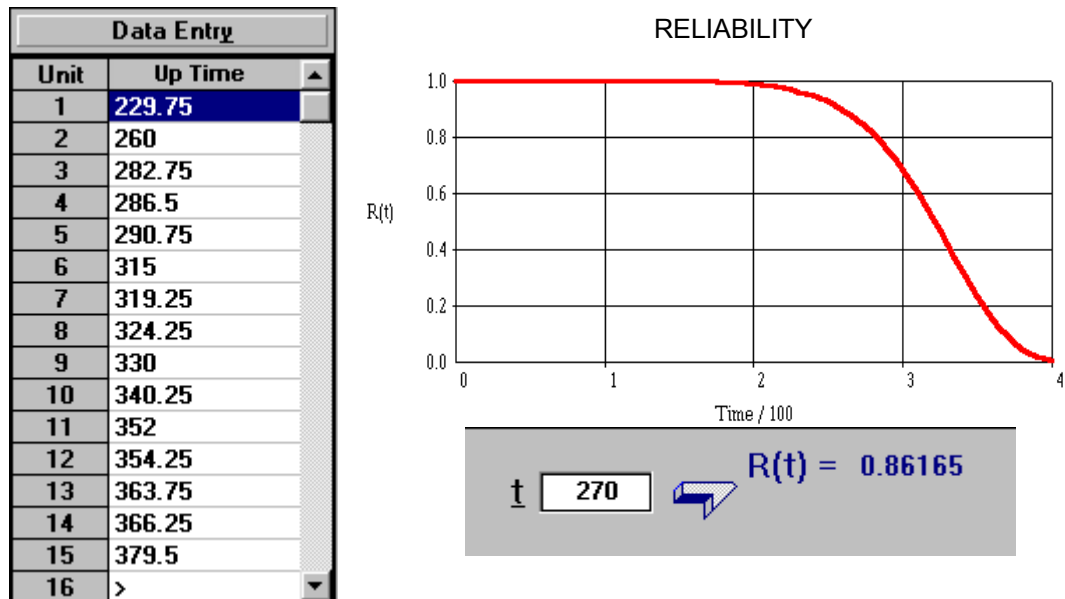


Figura 8.37 Confiabilidad Máquina Agrupadora 14

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

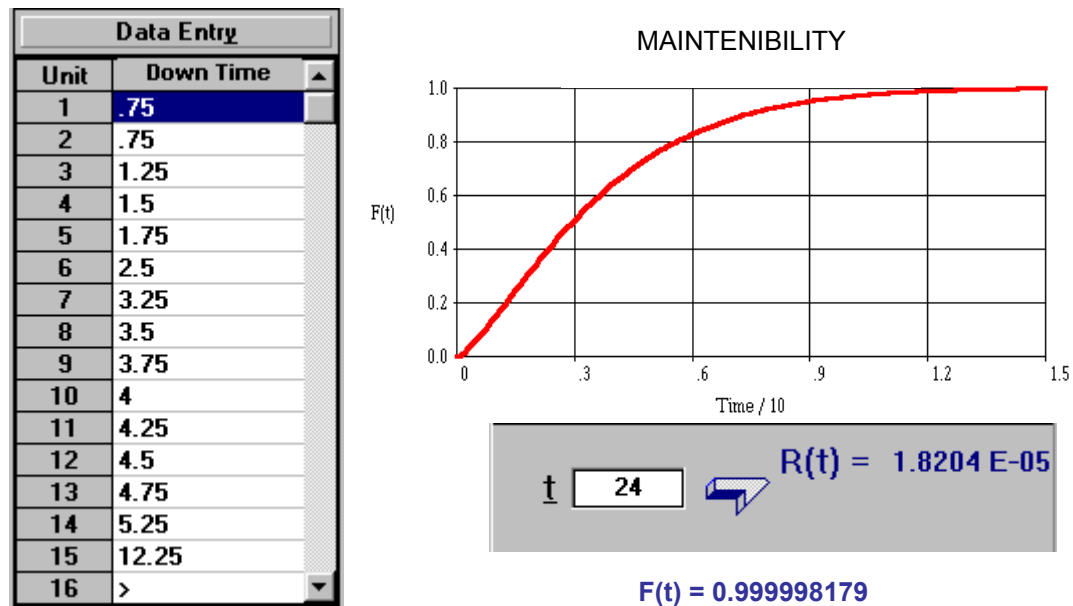


Figura 8.38 Mantenibilidad Máquina Agrupadora 14

Línea 7:

• Máquina Empacadora 19

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

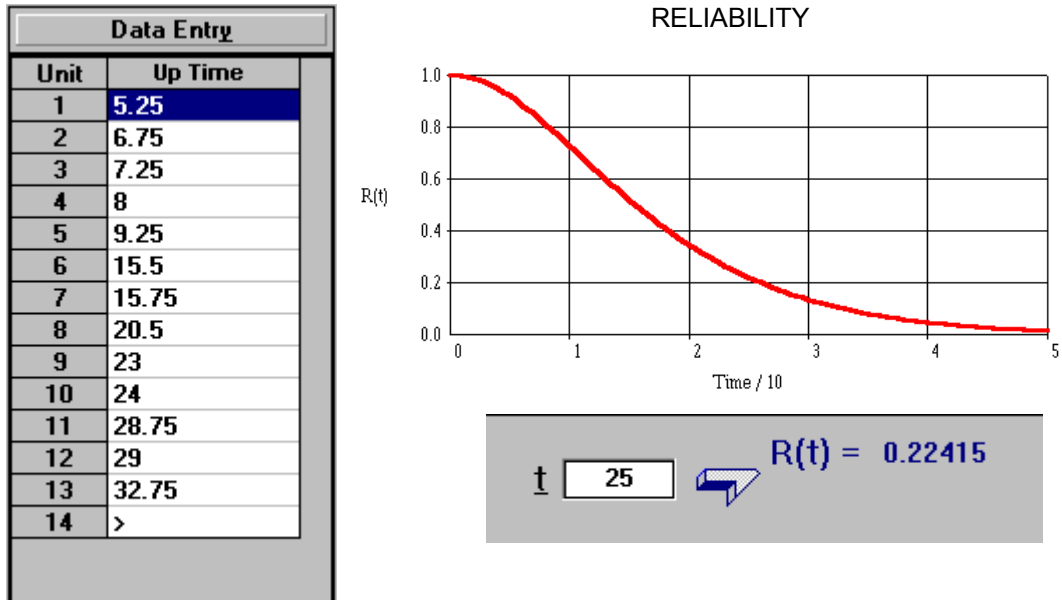


Figura 8.39 Confiabilidad Máquina Empacadora 19

- Mantenibilidad (Distribución Log-normal)

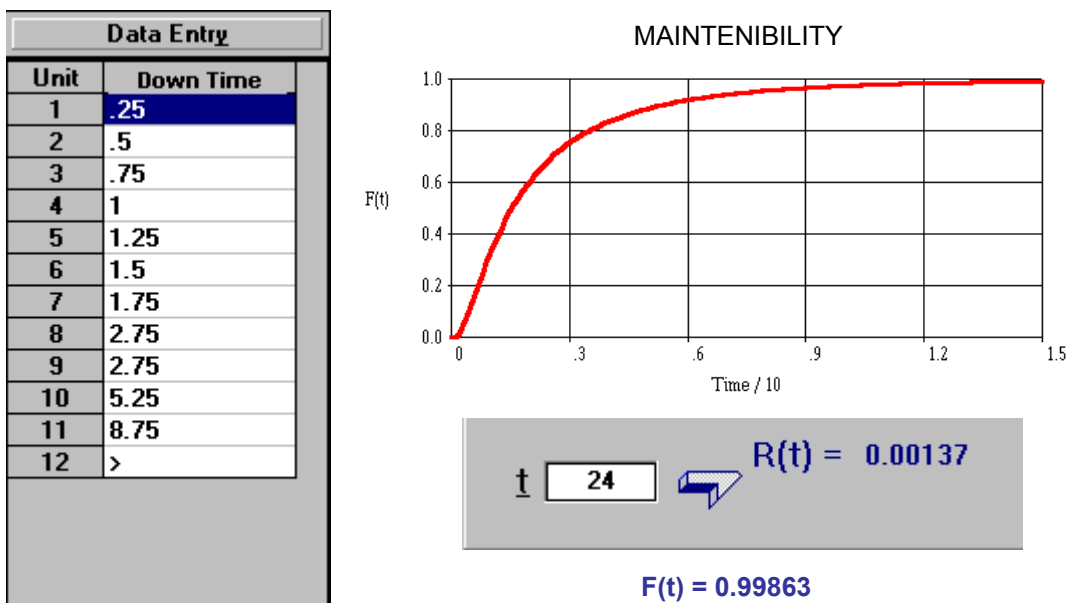


Figura 8.40 Mantenibilidad Máquina Empacadora 19

Línea 8:

• **Máquina Empacadora 18**

- *Confiabilidad (Distribución Weibull)*

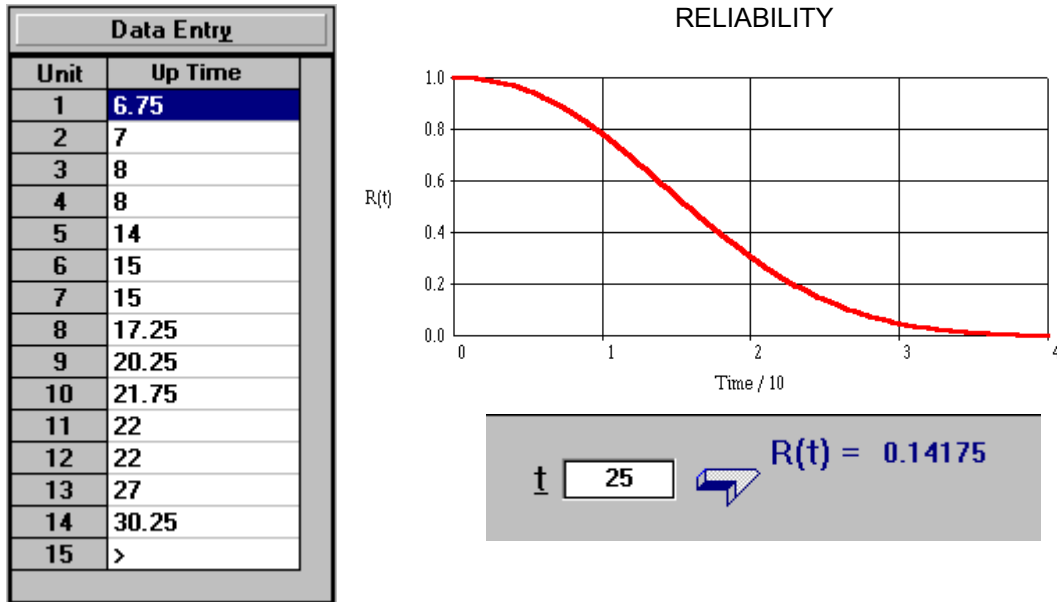


Figura 8.41 Confiabilidad Máquina Empacadora 18

- *Mantenibilidad (Distribución Log-normal)*

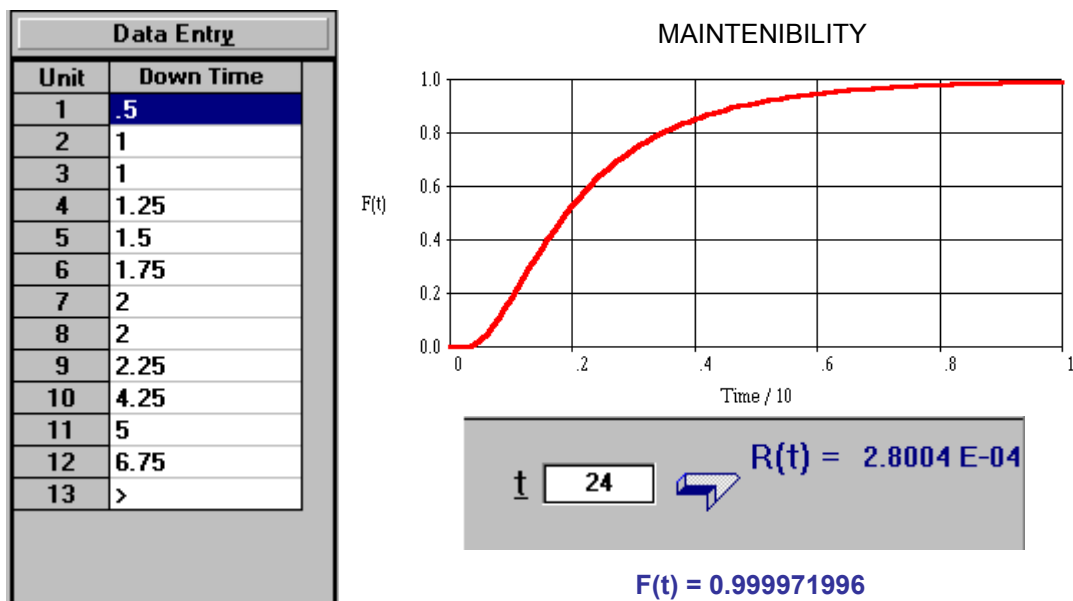


Figura 8.42 Mantenibilidad Máquina Empacadora 18

Línea 9:

• **Máquina Empacadora 1A**

- *Confiabilidad (Distribución Log-normal)*

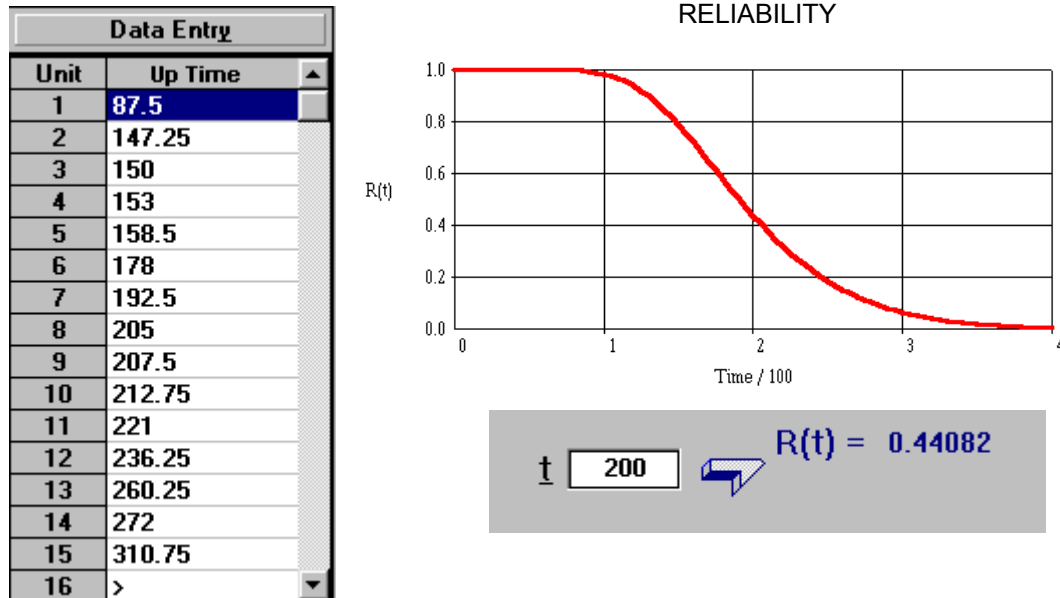


Figura 8.43 Confiabilidad Máquina Empacadora 1A

- *Mantenibilidad (Log-normal)*

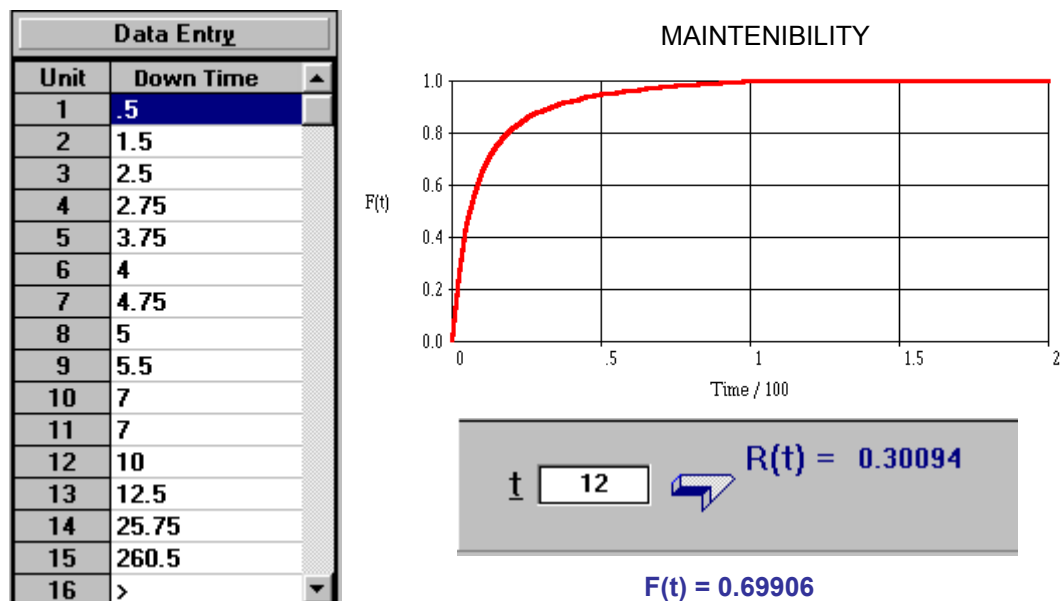


Figura 8.44 Mantenibilidad Máquina Empacadora 1A



• Máquina Empacadora 1B

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	151.25
2	157.5
3	164.5
4	176
5	192.5
6	199.5
7	205.75
8	210
9	216
10	243.25
11	262
12	267.5
13	280
14	296.25
15	320.75
16	>

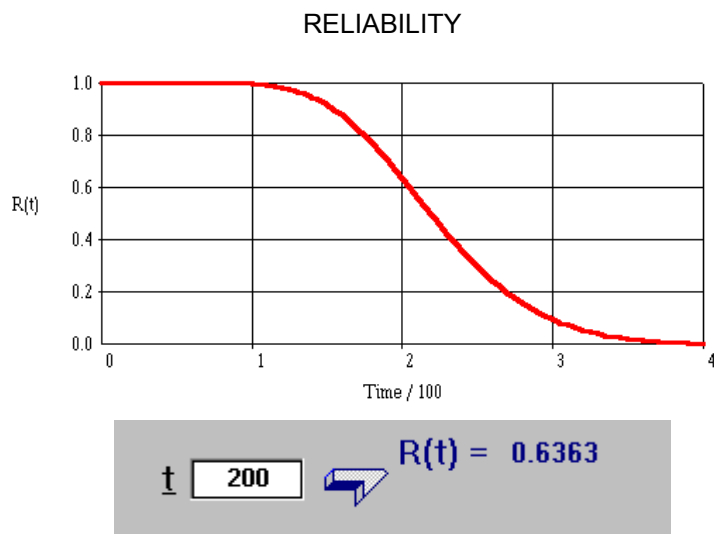


Figura 8.45 Confiabilidad Máquina Empacadora 1B

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	2.25
2	2.5
3	4
4	6.5
5	6.75
6	7
7	8.25
8	8.75
9	9
10	10.5
11	12
12	13.5
13	14.25
14	19.75
15	>

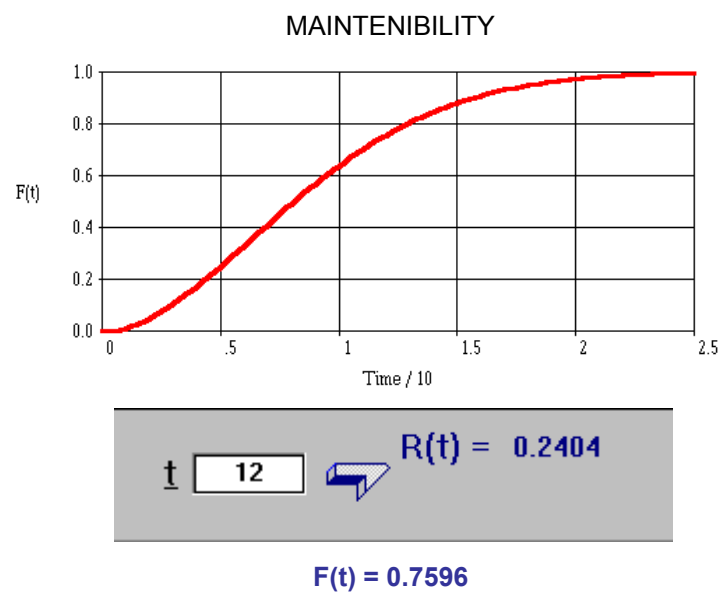


Figura 8.46 Mantenibilidad Máquina Empacadora 1B

• Máquina Agrupadora 1C

- Confiabilidad (Distribución Log-normal)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	155.75
2	159.5
3	171.5
4	172.5
5	192
6	198.5
7	207
8	209.25
9	228.75
10	252
11	262
12	284
13	292.25
14	310.25
15	345.5
16	>

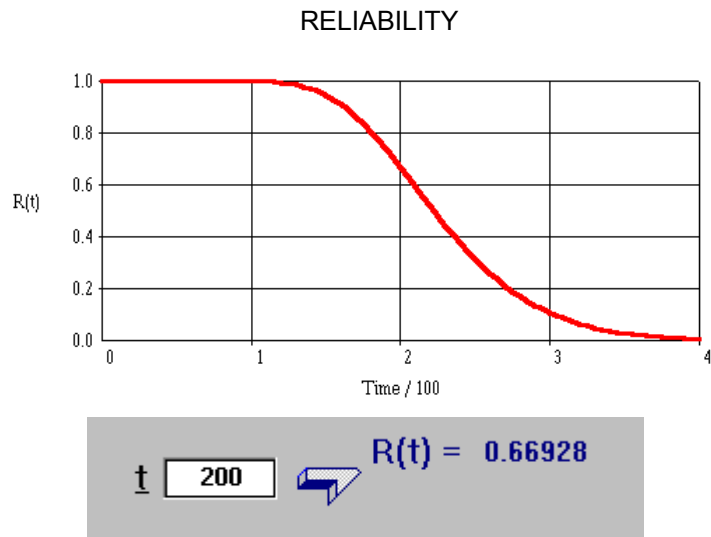


Figura 8.47 Confiabilidad Máquina Agrupadora 1C

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	.5
2	.5
3	1
4	1.25
5	2
6	2.5
7	2.75
8	3.25
9	3.5
10	4.25
11	5
12	5.25
13	5.5
14	5.75
15	>

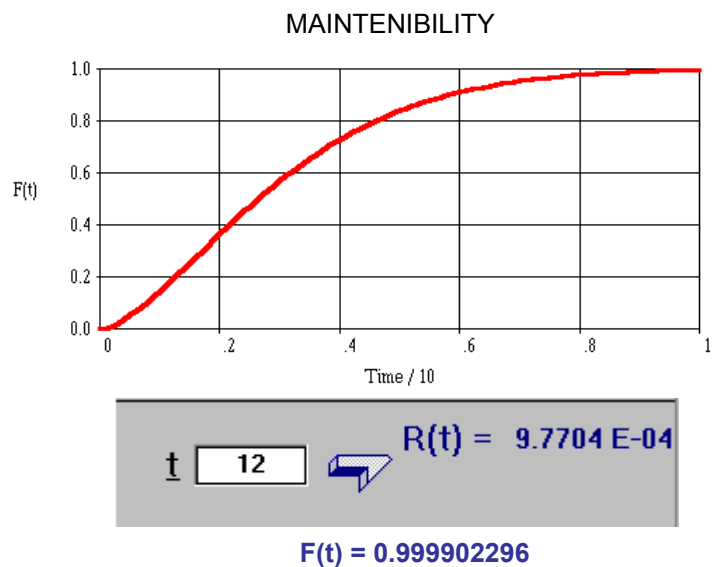


Figura 8.48 Mantenibilidad Máquina Agrupadora 1C

3. Sistema Torrefacción

• Tostadora 1

- Confiabilidad (Distribución Gamma)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	191.75
2	196
3	198
4	233.25
5	250.25
6	268
7	300.5
8	304
9	318
10	352.25
11	378.75
12	384
13	403
14	>

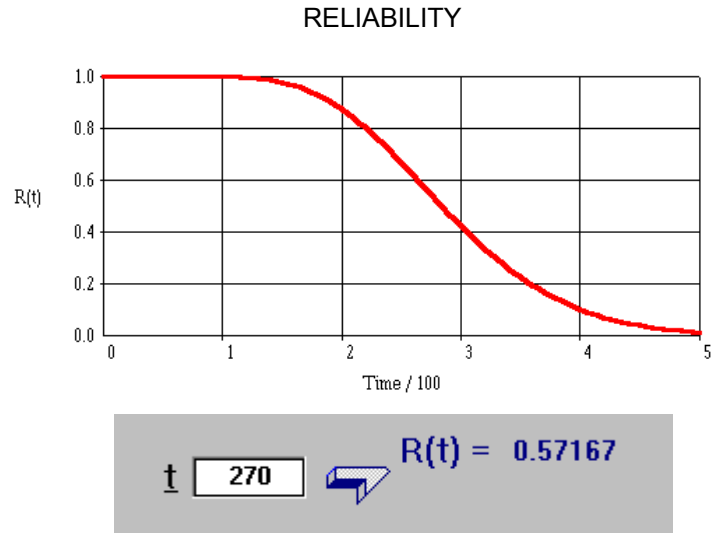


Figura 8.49 Confiabilidad Tostadora 1

- Mantenibilidad (Distribución Exponencial)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	1
2	2
3	2.5
4	5
5	5.5
6	11.75
7	21
8	87.75
9	>

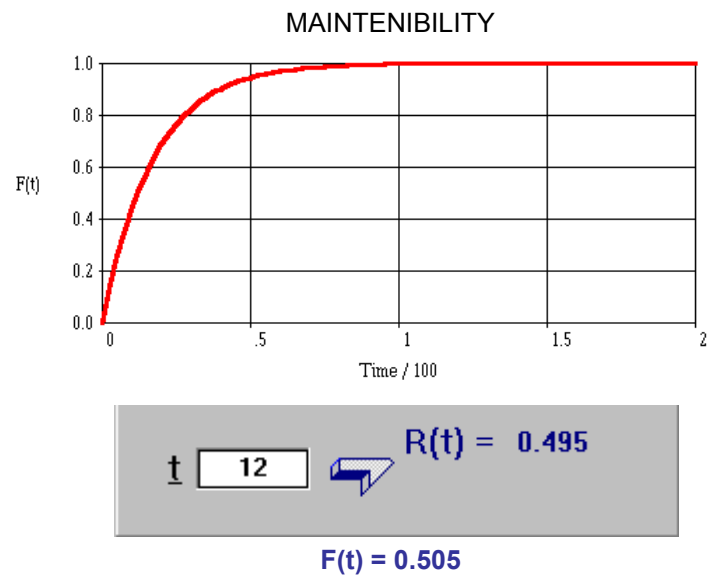


Figura 8.50 Mantenibilidad Tostadora 1



• Tostadora 2

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	162
2	196.75
3	214
4	257.25
5	272
6	302.25
7	304
8	316
9	318
10	347.5
11	371.25
12	372
13	391.75
14	>

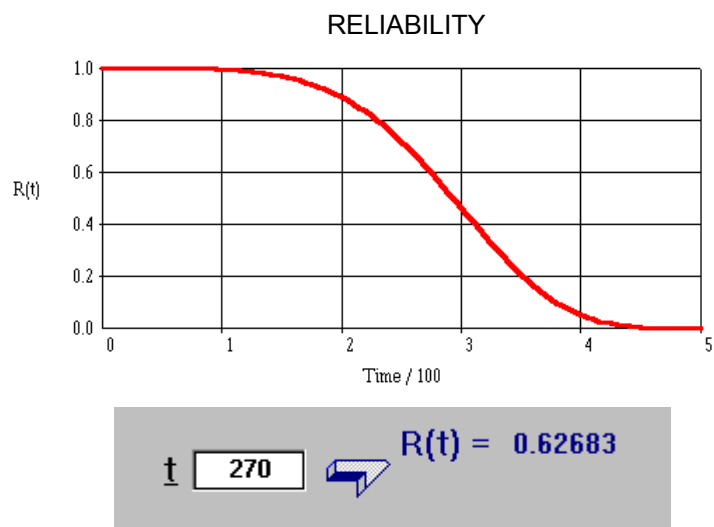


Figura 8.51 Confiabilidad Tostadora 2

- Mantenibilidad (Distribución Gamma)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	1.5
2	3.75
3	4.75
4	6.25
5	11.25
6	11.75
7	12.75
8	13
9	18
10	35
11	>

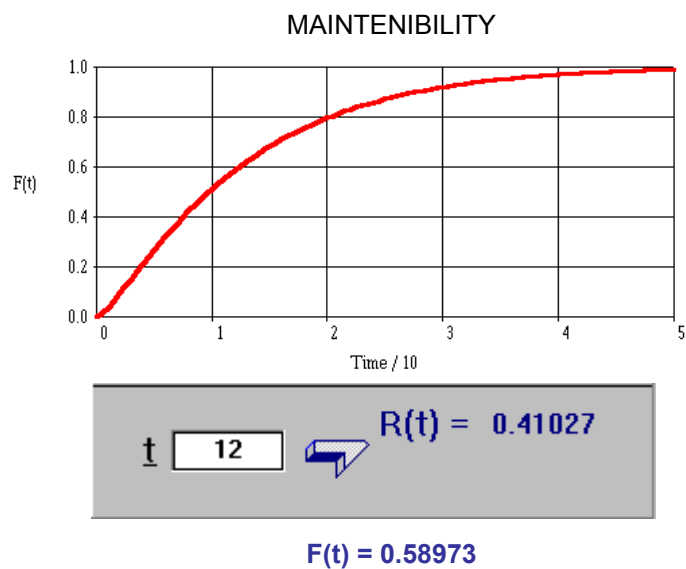


Figura 8.52 Mantenibilidad Tostadora 2



• Tostadora 3

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	192.75
2	197.25
3	214
4	246.25
5	281.5
6	286
7	294.25
8	303
9	304.5
10	335.75
11	368.75
12	370.5
13	384
14	>

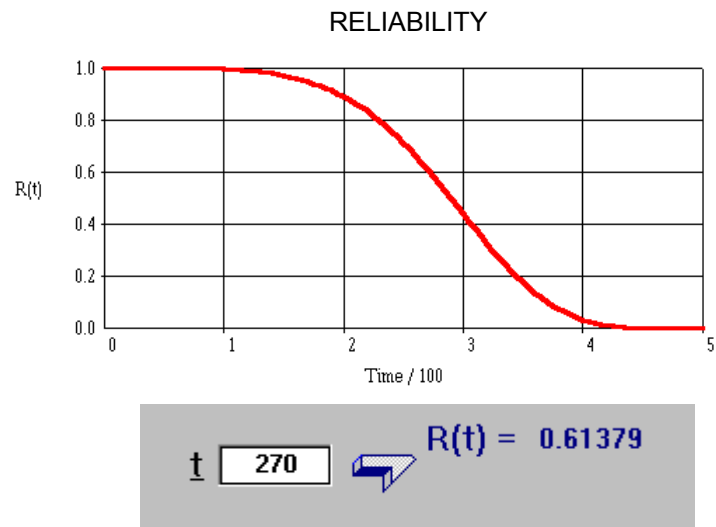


Figura 8.53 Confiabilidad Tostadora 3

- Mantenibilidad (Distribución Gamma)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	.5
2	3
3	3.5
4	4.5
5	4.75
6	10.25
7	15.25
8	15.75
9	19
10	32
11	34.25
12	>

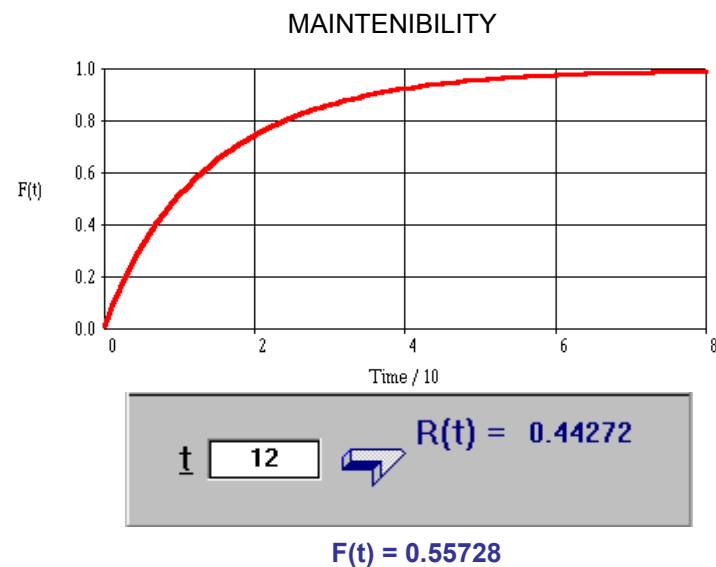


Figura 8.54 Mantenibilidad Tostadora 3

• Tostadora 4

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Up Time
1	167
2	188.5
3	198
4	241.5
5	285
6	290.75
7	293.25
8	306
9	306.5
10	347
11	360.25
12	362.5
13	369.25
14	>

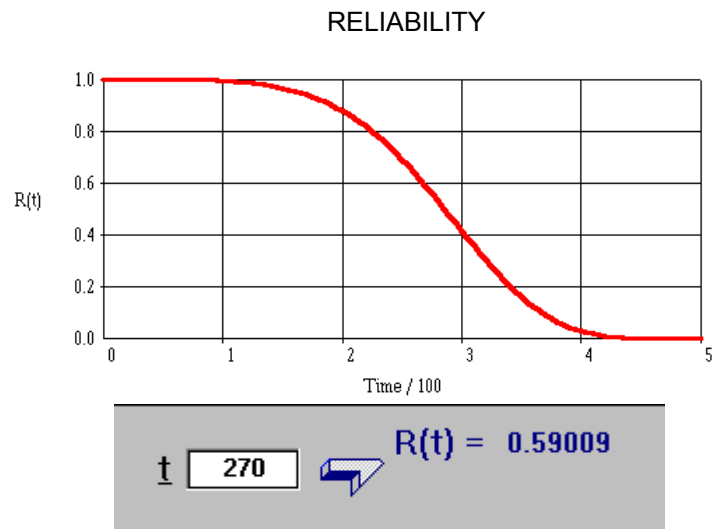


Figura 8.55 Confiabilidad Tostadora 4

- Mantenibilidad (Distribución Weibull)

Data Entry	
Unit	Down Time
1	7
2	10
3	10.75
4	11.5
5	11.5
6	15
7	20.5
8	21.5
9	42.75
10	45
11	>

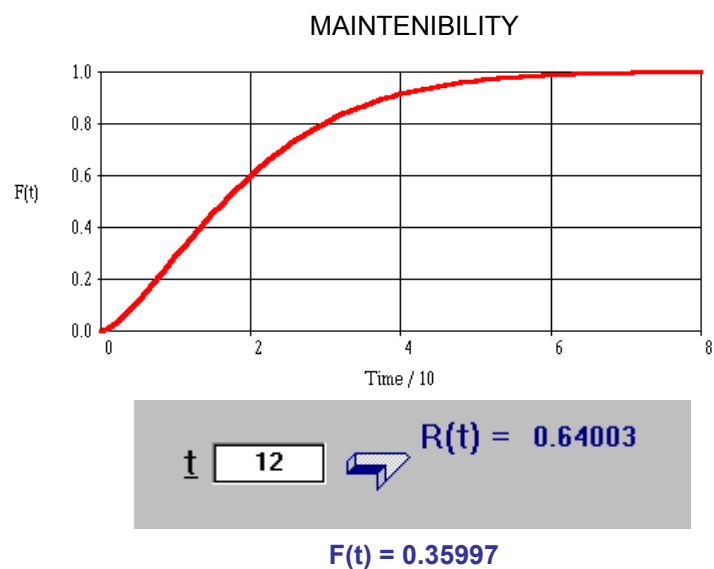


Figura 8.56 Mantenibilidad Tostadora 4



• Tostadora 5

- Confiabilidad (Distribución Weibull)

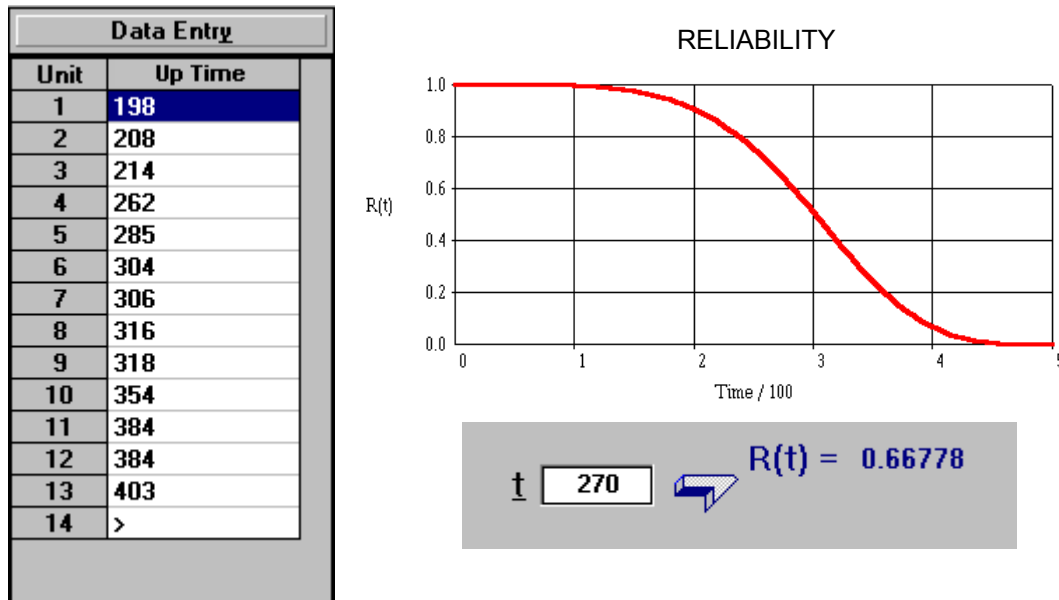


Figura 8.57 Confiabilidad Tostadora 5

- *Mantenibilidad*: Debido a que en la data disponible (2001-2002) no se encontraban reportes de tiempo fuera de servicio fue imposible determinar la mantenibilidad para la tostadora 5.

- *Disponibilidad*: La disponibilidad de los equipos fue calculada mediante la ecuación 3.15; en nuestro caso calcularemos la disponibilidad genérica, porque es esta la que podemos determinar partiendo de los datos que tenemos:

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMFS}$$

$TMEF = TMO(\text{Mean Up Time}) + TMFS(\text{Mean Down Time})$



1. Sistema Molienda

• Molino 1

$$TMO = 298.92$$

$$TMFS = 4.3214$$

$$TMEF = 298.92 + 4.3214$$

$$TMEF = 303.24$$

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMFS} \quad D = \frac{303.24}{303.24 + 4.3214}$$

$$D = 0.9859$$

Maquina	TMFS	TMEF	D
Molino 1	4.3214	303.24	0.9859
Molino 2	3.675	302.617	0.9880
Molino 3	7.6916	304.74	0.9746
Molino 4	26.781	312.915	0.9211
Molino 5	18.333	312.467	0.9445
Molino 6	16.666	310.743	0.94909

Tabla 8.21 Disponibilidad Sistema Molienda

2. Sistema Empaque

Línea 1

Maquina	TMFS	TMEF	D
Rovema 11	13.645	58.986	0.81212
Rovema 12	14.9545	59.1212	0.79811
Rovema 13	5.7045	57.3295	0.9095

Tabla 8.22 Disponibilidad Línea 1

**Línea 2**

Maquina	TMFS	TMEF	D
Rovema 2	16.25	340.516	0.9544
Rovema 3	34.5333	337.0333	0.907060
Rovema 4	16.3	336.4	0.9537
Favema 17	3.4333	338.656	0.9899

Tabla 8.23 Disponibilidad Línea 2

Línea 4

Maquina	TMFS	TMEF	D
Rovema 6	15.0333	217.7333	0.93541
Rovema 7	9.6166	220.733	0.9582
Favema 15	4.964	214.564	0.9773

Tabla 8.24 Disponibilidad Línea 4

Línea 5

Maquina	TMFS	TMEF	D
Rovema 8	14.95	323.35	0.9558
Rovema 9	18.8166	322.983	0.9449
Favema 14	3.6	323.216	0.9889

Tabla 8.25 Disponibilidad Línea 5

Línea 7

Maquina	TMFS	TMEF	D
Rovema 19	2.4090	19.7744	0.8914

Tabla 8.26 Disponibilidad Línea 7

Línea 8

Maquina	TMFS	TMEF	D
Rovema 18	2.409090	19.1412	0.8821

Tabla 8.27 Disponibilidad Línea 8

**Línea 9**

Maquina	TMFS	TMEF	D
Flexiflow 1A	23.5333	223.0166	0.90454
Flexiflow 1B	8.9285	231.7785	0.9629
Fabrima 1C	3.0714	232.4547	0.98695

Tabla 8.28 Disponibilidad Línea 9

3. Sistema Torrefacción

Maquina	TMFS	TMEF	D
Tostadora 1	17.0625	307.658	0.94745
Tostadora 2	11.8	306.0115	0.9628
Tostadora 3	12.977	303.6311	0.959011
Tostadora 4	19.55	305.357	0.93982
Tostadora 5	0	302.769	1

Tabla 8.29 Disponibilidad Sistema Torrefacción

Para todos los equipos de los sistemas restantes se considera una Confiabilidad igual a la unidad ($R(t) = 1$), al igual que la disponibilidad ($D = 1$); ya que no presentan fallas durante largos períodos de tiempo; por otro lado, la mantenibilidad no se puede determinar, debido a que no se poseen datos de tiempos fuera de servicio que permitan calcular la probabilidad para este caso. A saber los sistemas a que aplica lo antes descrito son:

- 4. Sistema de Recepción.**
- 5. Sistema de Almacenamiento 100.**
- 6. Sistema de Transporte y Elevación.**
- 7. Sistema de Almacenamiento 200.**
- 8. Sistema de Elevación y Transporte.**
- 9. Sistema de Almacenamiento 300.**
- 10. Sistema de Transporte Mecánico-Neumático.**
- 11. Sistema de Almacenamiento 400.**



8.5- Análisis de Criticidad (AC).

Para los equipos de cada sistema en estudio, se aplicó el Análisis de Criticidad. Para poder llevarlo a cabo, se consideraron los siguientes parámetros:

- Alcance y propósito: el análisis de criticidad abarcó el estudio de todos los equipos de los sistemas anteriormente descritos, con el propósito de optimizar el enfoque de las actividades de mantenimiento.

- Criterios de importancia: se establecieron como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes: Frecuencia de Fallas (FF), Impacto Operacional (IO), Flexibilidad Operacional (FO), Costos de Mantenimiento (CM) e Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene (ISAH).

- Selección de un método de evaluación: con el objetivo de jerarquizar los equipos seleccionados y determinar su impacto global e impacto en el proceso donde forman parte, se utilizó la siguiente evaluación para la criticidad total (CT):

$$CT = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = [(IO \times FO) + CM + ISAH]$$

Sin embargo, para obtener los valores que permitan desarrollar la ecuación antes descrita fue necesario emplear un criterio de evaluación, el cual es una guía de puntaje hecha según las necesidades de la planta torrefactora Café Fama de América y sus parámetros varían según el sistema en estudio (ver Anexos B). A continuación se muestra un ejemplo:



ANÁLISIS DE CRITICIDAD. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO 100

CT = Frecuencia de Falla X Consecuencia

Consecuencia = ((IO X FO) + CM + ISAH)

Donde:

- *Criticidad Total (CT)*

- *Frecuencia de Fallas (FF):*

Pobre: mayor de 5 fallas/semana	4
Promedio: de 2 – 4 fallas/semana	3
Buena: 1 – 2 fallas/semana	2
Excelente: menos de 1 falla/semana	1

- *Impacto Operacional (IO):*

Parada inmediata de toda la planta	10
Parada del sistema y efectos en otros sistemas	6
Impacto en niveles de producción o calidad	4
Costos operacionales mientras no esté disponible	2
Sin efectos en producción/operación	1

- *Flexibilidad Operacional (FO):*

No hay opción alterna de producción	4
Opción alterna de producción o equipo compartido	2
Hay respaldo	1

- *Costos de Mantenimiento (CM):*

Mayor o igual a 3.000.000 Bs/año	2
Inferior a 3.000.000 Bs/año	1

- *Impacto en la Seguridad, Ambiente e Higiene (ISAH):*

Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
---	---



Afecta al ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún daño a personas instalaciones o ambiente	0

EQUIPO	FF	IO	FO	CM	ISAH	Consecuencia	CT	Resultado
Silo 101	1	4	2	1	0	9	9	No Crítico
Silo 102	1	4	2	1	0	9	9	No Crítico
Silo 103	1	4	2	1	0	9	9	No Crítico
Balanza	1	10	4	1	0	41	41	Crítico
Soplador HDF 200	1	10	1	2	0	12	12	No Crítico
Cambiavías	1	10	4	1	0	41	41	Crítico

Nota: ver tabla 5.1 Criticidad Total

8.6- Búsqueda de Información de AMEF.

Con la finalidad de desarrollar el proceso correspondiente al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), se consideraron en los sistemas los siguientes aspectos:

- Se recopiló la información de los Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), con la cooperación de supervisores, técnicos y operadores.
- Para recabar y confirmar ésta información, se hizo necesario realizar al menos dos (2) reuniones semanales con una duración de al menos noventa (90) minutos cada una, durante un período de tres (3) meses, adaptándonos a la disponibilidad de tiempo del personal consultado.



• Las personas que conformaron el *Grupo Natural de Trabajo* estuvieron involucradas tanto en el *análisis* como en la *verificación* de la información de los Análisis de Modos y Efectos de Falla:

- Arreaza, Ángel (Supervisor de Mantenimiento Técnico).
- Bastidas, Jeison (Facilitador).
- Bencomo, Jesús (Supervisor de Mantenimiento Técnico).
- Marino, Jorge (Facilitador).
- Padrón, Martín (Jefe de Mantenimiento Técnico y Proyecto).
- Rodríguez, Guillermo (Supervisor de Almacén de Repuestos).
- Sánchez, Néstor (Supervisor de Mantenimiento Técnico).

8.7- Registro de la Hoja de Información MCC.

La información de un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) se registra en un formato llamado *Hoja de Información MCC* (ver figura 8.58), conteniendo:

• En el encabezado: el sistema, el equipo, el nombre del grupo de análisis y verificación de la información con sus fechas respectivas, el número de páginas y el total de ellas.

• En el cuerpo central: la función o funciones que lleva a cabo el equipo (identificándolas por medio de números), las posibles fallas funcionales, identificadas por un orden alfabético, las causas de las fallas y los efectos originados si llegase a ocurrir la falla.

SISTEMA		GRUPO DE ANALISIS		FECHA	PAGINA
ALMACENAMIENTO 100		GRUPO MCC		JUNIO	1
EQUIPO		GRUPO DE VERIFICACION		FECHA	DE
BALANZA		GRUPO MCC		AGOSTO	1
FUNCION	FALLA DE FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LA FALLA		
1 Registrar un peso máximo de 490 Kg de granos de café verde, provenientes del conjunto de Silos 100.	A No registra el peso de granos de café verde.	A1 Celda de carga defectuosa.	Indicación visual en la sala de control. Se debe reemplazar la celda de carga. El equipo y la producción se detienen por un tiempo de 2 horas.		

Figura 8.58 Hoja de Información MCC



Ver Anexos C, donde se muestran las Hojas de Información de los equipos en estudio

8.8- Registro de la Hoja de Decisión MCC.

Luego de haber realizado el Análisis de Criticidad y el Registro de la Hoja de Información MCC, se indican las consecuencias de las fallas y las tareas de mantenimiento (ver figura 8.59), únicamente para los equipos críticos y para aquellos que, sin llegar a ser críticos, causan un impacto importante en el normal desarrollo productivo de la planta .

SISTEMA										GRUPO DE ANÁLISIS					FECHA		PÁGINA		
ALMACENAMIENTO 100										GRUPO MCC					AGOSTO		1		
EQUIPO										GRUPO DE VERIFICACIÓN					FECHA		DE		
BALANZA										GRUPO MCC					SEPTIEMBRE		1		
NÚMERO DE EVALUACIÓN DE										REFERENCIA DE LA									
REFERENCIA										CONSECUENCIA					TAREAS				
F	FF	FM	O	SE	OP	NO	LUB	O1	O2	O3	O4	TAREA PROPUESTA					INTERVALO	REALIZADO	
								SE1	SE2	SE3	SE4						INICIAL	POR	
								OP1	OP2	OP3	OP5								
								NP1	NP2	NP3									
1	A	1	S	N	S		N	N	S			Revisar y limpiar el sistema de celda de carga, mandar a realizar calibración (si es necesario) por empresa contratista.					Trimestral	Tec. Equipo	

Figura 8.59 Hoja de Decisión

La *Hoja de Decisión* está constituida por:

- Un encabezado cuyo registro es equivalente a la hoja de información MCC.
- En el número de referencia: la falla (F), la falla funcional (FF) y el modo de falla (FM).
- Una evaluación de la consecuencia de la falla, la cual se realizó con la ayuda del *Árbol de Decisión MCC*

Ver Anexos C, donde se muestran las Hojas de Decisión de los equipos en estudio



En el *Árbol de Decisión* (ver figura 8.60) se realizan las preguntas en una secuencia horizontal. La forma de realizar estas preguntas es de izquierda a derecha, seleccionándose la consecuencia de la falla asociada a las siguientes características: Consecuencias de fallo oculto (O), Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente (SE), Consecuencias operacionales (OP) y Consecuencias no operacionales (NP). Al seleccionar una de las consecuencias de la falla, sólo se permite el acceso en la dirección descendente de preguntas.

- Una referencia de la tarea de mantenimiento: este paso se realiza una vez evaluada la consecuencia de la falla y permite identificar, mediante siglas, la tarea propuesta de mantenimiento.
- Una tarea propuesta de mantenimiento: donde se registra la actividad de mantenimiento a realizar.
- El intervalo inicial: donde se indica la frecuencia con la cual se va a realizar cada actividad de mantenimiento.
- Realizado por: indica el cargo, que ocupa en la planta, la persona ejecutora de la actividad de mantenimiento.

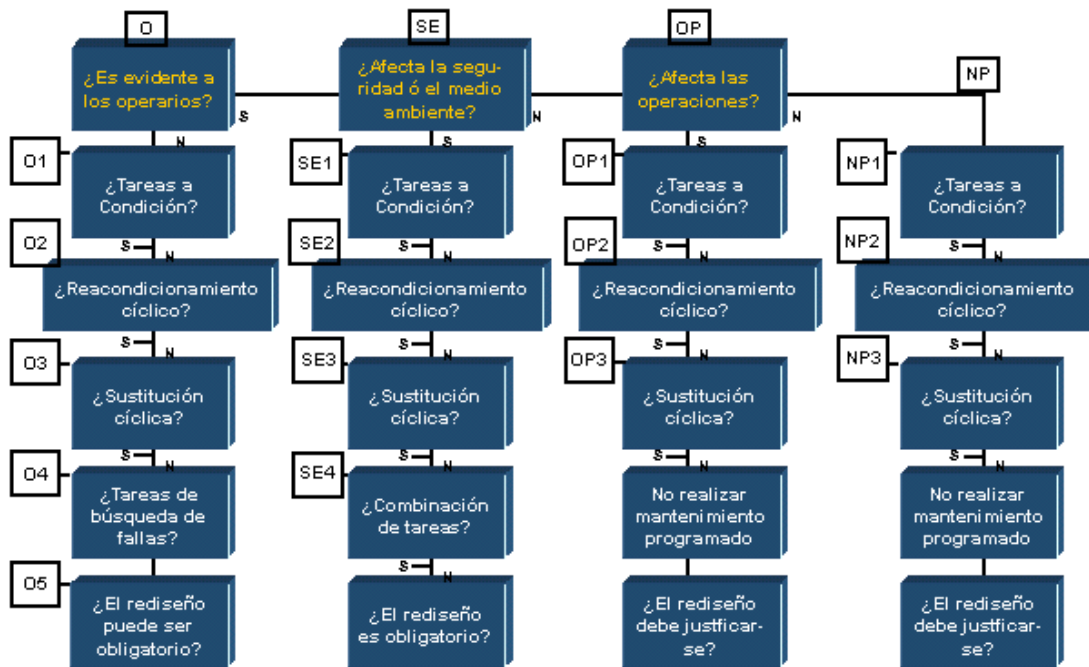


Figura 8.60 Árbol de Decisión



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- La confiabilidad para el Sistema de Molienda se comporta similar para todos los equipos; evaluando en un tiempo $t = 270$ h arrojó una confiabilidad $R(t) \approx 0.6$. Es decir, para un lapso de aproximadamente de 3 semanas operativas cualquier equipo del sistema de molienda presenta una probabilidad de que no falle alrededor del 60%. Con respecto a la mantenibilidad observamos que para un tiempo de 12 horas la probabilidad de restaurar los equipos es la siguiente: Molino 1= 0.9072; Molino 2= 0.94468; Molino 3= 0.53422; Molino 4= 0.36084; Molino 5= 0.48004; Molino 6= 0.51335. La disponibilidad estuvo sobre 0.9. En resumen todo lo anterior se traduce en que el sistema posee un plan de mantenimiento preventivo óptimo (buen valor de confiabilidad), un buen equipo de mantenimiento correctivo (valor medio de mantenibilidad) y consecuente con esto los equipos del sistema tienen gran capacidad para cumplir con su función (disponibilidad > 0.9).

- En el Sistema de Empaque hubo divergencias entre algunos equipos; en la línea 1 con $t = 70$ h se encontró una confiabilidad $R(t) \approx 0.25$, la mantenibilidad con el valor de $F(t) \approx 0.9$ (para $t = 24$ h) y la disponibilidad entre 0.8 y 0.9; esto representa un valor muy bajo de confiabilidad en un tiempo menor a una semana operativa, sin embargo la mantenibilidad y disponibilidad nos indican tiempos bajos para reparar (mantenibilidad) e igualmente poco tiempo fuera de servicio (disponibilidad). La línea 2 presenta uno de los mejores valores del sistema de empaque; para un $t = 320$ h, la confiabilidad $R(t) \approx 0.5$, la mantenibilidad en esta línea está en el orden de 0.9 con excepción de una de ellas que posee un valor de mantenibilidad de 0.33072 (maquina 3), este valor refleja un posible descontrol ya que éstas maquinas son semejantes; y la disponibilidad > 0.9; obteniendo un valor de confiabilidad medianamente alto para un período de casi cuatro semanas

operativas; a pesar de tener uno de los valores bajos en esta línea, *el comportamiento de la mantenibilidad y la disponibilidad es similar en todo el sistema (valores altos)* . En la línea 4 con un tiempo $t = 230$ h encontramos una confiabilidad $R(t) \approx 0.2$, esta línea en lapso cercano a cuatro semanas operativas se comporta de manera poco eficiente al presentar continuas paradas a causa de fallas funcionales. La línea 5 es otra que presenta buenos valores de confiabilidad, ya que en un tiempo $t = 270$ h la probabilidad de que no fallen estos equipos $R(t) \approx 0.8$. El caso de las líneas 7 y 8 es similar, porque para un tiempo $t = 25$ h la confiabilidad está en el rango comprendido entre 0.15 y 0.20 aproximadamente, lo que representa un valor muy bajo de confiabilidad (alta probabilidad a que se presente una falla). La confiabilidad para la línea 9 reflejan un buen resultado, en donde al evaluar en $t = 200$ h la confiabilidad $R(t) \approx 0.5$.

- El Sistema de Torrefacción también fue evaluado, aquí para todos los equipos se realizó un cálculo probabilístico puntual de confiabilidad y mantenibilidad para un tiempo $t = 270$ h, representando este período más halla de tres semanas operativas, donde los resultados obtenidos fueron: $R(t) \approx 0.6$ y $F(t) \approx 0.5$; la disponibilidad genero un valor de $D > 0.9$. A manera analítica, este sistema presenta poca probabilidad de falla para un tiempo prolongado de operación; si llegase a ocurrir una falla durante este período, su puesta en servicio sería medianamente probable en un lapso de 12 h ($F(t) \approx 0.5$), y estará en capacidad de cumplir con su función ($D > 0.9$).

- Con el propósito de optimizar el enfoque de las actividades de mantenimiento, se realizó el Análisis de Criticidad a todos los sistemas de la planta. Los equipos críticos obtenidos son:

- Sistema de Recepción: Tolva de Recepción (CT = 42), Transporte de Cadenas (CT = 41), Elevador de Cangilones (CT = 41), Maquina Limpiadora (CT = 41), Cambia Vías (CT = 41). Estos



equipos causan un alto impacto operacional por ser ellos “cuellos de botella”.

- Sistema de Almacenamiento 100: Balanza (CT = 41), Cambia Vías (CT = 41). A pesar de tener poca frecuencia de falla estos dos equipos, causan un gran impacto operacional (posible parada de la planta) y además no hay una opción alterna de funcionamiento.
- Sistema de Transporte y Elevación: Transporte Elevado de Cadenas 1 (CT = 41), Elevador de Cangilones (CT = 41), Transporte Elevado de Cadena 2 (CT = 41). Estos equipos son también “cuellos de botella” en la línea de producción de la planta, donde radica su criticidad
- Sistema de Empaque: Favema 14 (CT = 99), Favema 15 (CT = 99) y Favema 17 (CT = 99). Estos equipos poseen una alta frecuencia de falla, su parada afecta drásticamente a la producción y algunos de ellos (de todo el sistema) no tienen opción alterna de funcionamiento. Además de estos equipos críticos del sistema de empaque, se realizarán actividades de mantenimiento a algunos que resultaron ser semi-críticos.



CONCLUSIONES

- El desarrollo del plan de mantenimiento bajo la filosofía de confiabilidad operacional, realizado en la planta torrefactora Café Fama de América, propone herramientas técnicas aptas para detectar con rapidez y disminuir las fallas que puedan presentarse en los equipos, establecer un control planificado de las rutinas de mantenimiento e incrementar el tiempo entre dos paradas generales sucesivas; actividades que se traducen en un aumento de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.
- Mediante el desarrollo de las herramientas de confiabilidad operacional propuestas en este proyecto, la empresa comienza a abordar una gestión de mantenimiento de clase mundial, lo cual puede transformarla en una empresa de clase mundial.
- En la etapa previa a la aplicación (etapa de desarrollo), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) comienza a mostrar ventajas tales como definir estrategias para prevenir los modos de falla, orientar los esfuerzos de mantenimiento hacia los equipos críticos, crear un diagnóstico rápido de las fallas de los equipos a través de los modos de falla relacionados con su(s) función(es) y a los análisis de sus efectos, ampliar la base de datos de mantenimiento y mejorar el trabajo en equipo, entre otras.
- Es importante destacar la importancia del Análisis de Criticidad (AC) como soporte al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), debido a que mediante ese análisis se determinaron tres niveles de criticidad (Crítico, Semi-crítico y No Crítico) en los equipos estudiados, permitiendo así orientar las tareas de mantenimiento propuestas hacia aquellos que resultaron críticos; acción que optimiza al plan de mantenimiento.



CONCLUSIONES

- Al dirigir los esfuerzos de mantenimiento hacia los equipos críticos, la empresa reduce costos operacionales (referidos a la producción) y no operacionales (referidos a reparaciones)
- El programa computacional “Relest”, empleado en el desarrollo de este proyecto, constituyó una valiosa herramienta al momento de evaluar la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, a pesar de ser un programa académico.
- Este Trabajo Especial de Grado sirve como base para la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) a cualquier equipo y/o sistema perteneciente a la planta torrefactora Café Fama de América. Sin embargo, dicha herramienta es adaptable a cualquier planta.



RECOMENDACIONES

- Implantación del plan de mantenimiento bajo la filosofía de confiabilidad operacional, presentado en este trabajo, a los equipos críticos de la planta torrefactora Café Fama de América. Luego implementarlo en todos los equipos de la misma.

- Aplicar un registro de fallas de equipos y tareas de mantenimiento más riguroso, en el cual se especifiquen los tiempos operativos, tiempos fuera de servicio, tiempos para reparar y tiempos entre fallas. Esto en un futuro será útil para la evaluación de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

- Atacar las fallas de los equipos de una manera expedita y efectiva, empleando todos los recursos que sean posible para solucionarla; debido a que un (1) minuto de inactividad en los equipos resulta una pérdida relevante desde el punto de vista productivo y económico. Sólo en la Máquina Empacadora 4 de la Línea 2 de Empaque, por ejemplo, se traduce en una merma de 60 paquetes de 200 gr. cada uno.

- Adaptar el almacén de repuestos a los requerimientos reales de los equipos de la planta.

- Entrenar y capacitar al personal de mantenimiento, a través de talleres y cursos, para adquirir nuevos conocimientos en el área; sin escatimar esfuerzos. De ser necesario, incorporar nuevo personal a dicha área.

- Proponer mediante un trabajo especial de grado, la realización de un software de mantenimiento que sea, al menos, capaz de determinar la



RECOMENDACIONES

confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos de la planta; de manera que al fijar una frecuencia de evaluación de estos parámetros, sirva como indicador de efectividad de las herramientas de confiabilidad operacional aplicadas. Otra alternativa la constituye la adquisición del programa computacional.

- Inculcar conciencia, en todos los niveles de la empresa, de la importancia del mantenimiento como motor principal para lograr una mejor productividad y un mejor desempeño de los equipos de la planta.

- Implementar actividades orientadas a concientizar, tanto a operarios como a técnicos, sobre la importancia del cumplimiento de sus labores de manera eficiente; haciéndolos sentir parte integral del proceso que se esté desarrollando dentro de la empresa.

- Ampliar los canales de comunicación entre los diversos equipos de trabajo de la empresa.

- Motivar al personal reconociendo sus logros.



BIBLIOGRAFÍA

- Avallone, Eugene & Baumeister III, Theodore. (1996). **Marks Manual Del Ingeniero Mecánico**. México DF – México. Editorial McGraw-Hill.
- Durán, José. (2000). **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Reversa**. Guía Intevep.
- Hodson, William K. (1996). **Maynard Manual Del Ingeniero Industrial**. México DF – México. Editorial McGraw-Hill.
- López, Rolando. (2001). “Desarrollo de un Modelo de Gestión de Confiabilidad”. PDVSA.
- Mavares, Francisco – Medina, Antonio. (1998). “Optimización de un Plan de Mantenimiento a los Equipos Mecánicos de una Planta de Alquiler”. PDVSA.
- Nava, José Domingo. (1992). **Teoría de Mantenimiento. Fiabilidad**. Mérida – Venezuela. Universidad de Los Andes.
- Parra, Carlos. (2001). **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)**. Guía Intevep.
- [http:// www.aladon.com](http://www.aladon.com)
- [http:// www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)
- [http:// www.soporteycia.com](http://www.soporteycia.com)



GLOSARIO

Balanza: equipo empleado para cuantificar el peso de los granos de café verde provenientes de los silos de almacenamiento.

Bandas Transportadoras: sistema de arrastre, manejado con una banda de material sanitario, el cual está en contacto con el café.

Cadenas Transportadoras: sistema de transporte por arrastre, mediante el cual se traslada el café a través de cadenas.

Cambiavías: mecanismo utilizado para distribuir los granos de café verde hacia distintos equipos en sistemas posteriores.

Cuerpo VP: cuerpo vertical de las maquinas empacadoras.

Cuerpo BS: cuerpo horizontal de las maquinas empacadoras.

Dosificación: acción de suministrar una dosis o cantidad necesaria de café, equivalente al gramaje a empacar, y se hace a través de los sistemas de tornillo sin fin o de vasos volumétricos.

Elevador Cangilones: mecanismo de elevación de carga (café), con recipientes cóncavos (cucharones), utilizado en diversos sistemas.

Esclusas: equipos dosificadores de café molido.

Golpes por Minuto: paquetes de café empacados por minuto.



Máquinas Agrupadoras: equipos electrónicos de alta velocidad. Reciben los paquetes de café molido desde las máquinas empacadoras y los organiza en fardos (bultos) con una cantidad de paquetes predeterminada.

Máquinas Empacadoras: máquinas electrónicas de alta velocidad, las cuales producen los paquetes de café en sus distintos formatos y presentaciones, a razón de 28 hasta 60 golpes por minuto (paquetes por minuto).

Máquina Limpiadora: equipo en el cual se hacen pasar los granos de café verde por una malla que lo despoja de elementos extraños (piedras, palos, gorgojos, tierra, entre otros).

Molinos: equipos que tienen como función molturar los granos de café tostados, mediante rodillos, hasta una dimensión específica.

Fardos: bultos que contienen una cantidad específica de paquetes de café de un formato determinado.

Formato: distintos tamaños para envasar el café. Papeletas de 50gr. y 100gr., Bolsas de 200gr., 250gr., 500gr. y 1000 gr, y Latas de 400gr.

Silos: unidades de almacenamiento de café (verde, tostado o molido) de gran capacidad.

Soplador: equipo rotativo que transporta los granos de café verde, mediante un flujo de aire.

Tolvas: unidades de almacenamiento de café molido, de pequeña capacidad.



Tolva de Recepción: equipo donde se realiza la mezcla de los diferentes tipos de café verde provenientes del almacén.

Tornillo Sin Fin: transportador de café molido, mediante el movimiento rotativo de un canal en forma de hélice dispuesto alrededor del eje.

Tostadoras: equipos en los cuales se someten a un tratamiento térmico a los granos de café verde.



LISTA DE ABREVIATURAS.

A: agrupadoras.
AC: análisis de criticidad.
AMEF: análisis de modo y efectos de falla.
B: balanza.
BV: bomba de vacío.
°C: grados Celsius.
C: crítico.
C.A.: compañía anónima.
CD: carro de distribución.
CM: costos de mantenimiento.
CT: criticidad total.
CV: cambiavías.
E: empacadoras.
Ec: ecuación.
EC: elevador de cangilones.
ECL: elevador de cangilones tipo L.
EO: estado operativo.
ENO: estado no operativo.
EPS: entrada – proceso – salida.
ES: esclusa.
F: falla.
FF: frecuencia de fallas.
Fi: falla iésima.
FM: failure mode (modo de falla).
FO: flexibilidad operacional.
gpm: golpes por minuto.
gr: gramo.
hr: hora.



LISTA DE ABREVIATURAS

hp: horse power (caballo de fuerza).
K: grados kelvin.
kg: kilogramo.
kW: kilowatt (kilovatio).
Lub: lubricación.
IO: impacto operacional.
ISAH: impacto en seguridad, ambiente e higiene.
M: molino.
MCC: mantenimiento centrado en confiabilidad.
ME: motor eléctrico.
ML: máquina limpiadora.
mm: milímetros.
NC: no crítico.
NP: consecuencias no operacionales.
O: consecuencias de fallo oculto.
OP: consecuencias operacionales.
PF: potencial failure (falla potencial).
Psig: pound square inch (libra por pulgada cuadrada).
rpm: revoluciones por minuto.
SC: semicrítico.
SE: consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
TC: transporte de cadena.
 T_{CM} /h: toneladas de café molido /hora.
 T_{CT} /h: toneladas de café tostado /hora.
 T_{CV} /h: toneladas de café verde /hora.
TEB: transportador elevado de banda.
TEC: transportador elevado de cadena.
Tec. Equipo: técnico de equipo.
Tec. Línea: técnico de línea.
TEF: tiempo entre fallas.



LISTA DE ABREVIATURAS

TFC: tiempo fuera de control.
TFS: tiempo fuera de servicio.
T /h: toneladas / hora.
TMEF: tiempo medio entre fallas.
TMEM: tiempo medio entre mantenimiento.
TMFS: tiempo medio fuera de servicio.
TMO: tiempo medio operativo.
TMPM: tiempo medio para mantener.
TMPR: tiempo medio para reparar.
TPR: tiempo para reparar.
TO: tiempo operativo.
To: tostadora.
TR: tolva de recepción.
TSF: tornillo sin fin.
TV: tolva.