

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD APLICADO A UNA CONFORMADORA DE
ROLLOS EN UNA EMPRESA PAPELERA POR LA TÉCNICA DE MODOS DE
FALLO**

**JULIÁN ANDRÉS TASAMA VALENCIA
SANTIAGO GÓMEZ ESTRADA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PEREIRA
2008**

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD APLICADO A UNA CONFORMADORA DE
ROLLOS EN UNA EMPRESA PAPELERA POR LA TÉCNICA DE MODOS DE
FALLO**

**JULIÁN ANDRÉS TASAMA VALENCIA
SANTIAGO GÓMEZ ESTRADA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero electricista**

**Director
MAURICIO HOLGUÍN LONDOÑO
Candidato a magister en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PEREIRA
2008**

Nota de aceptación

Jurado

Director

Pereira, 25 de Noviembre de 2008

A Dios, porque todo depende de Él
A mis padres, por su compañía incondicional
A mis hermanas, por su cariño
Y a mis tíos, por todo su apoyo
Santiago

A mis madres, por su presencia
A mi padre, por su ejemplo
..... A doña Mechas, sin ella esto no hubiera sido posible
Julián

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Mauricio Holguín por toda la paciencia y colaboración prestada durante el desarrollo de todo el proyecto.

Al ingeniero Carlos Julio Zapata por facilitarnos el software para el cálculo de las tasas de falla, depuración de la información y modelos de los componentes.

A los profesores del programa de ingeniería eléctrica por su compromiso con la educación.

A los profesores del programa de tecnología eléctrica por su colaboración y guía a lo largo de todos estos años, por ser personas íntegras e inculcar en todos sus estudiantes el amor y respeto por el saber.

A señor Diego Angrino ya que sin sus orientaciones no se hubiera logrado un entendimiento de la máquina, al señor Luis Alberto Henao superintendente de mantenimiento mecánico quien suministró la base de datos y a todo el personal de planta que nos colaboraron de una forma desinteresada a lo largo del trabajo.

A nuestras familias por su colaboración y compañía a lo largo de todo este tiempo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS DE PROBABILIDAD Y CONFIABILIDAD	2
1.1 PROBABILIDAD	2
1.1.1 Evento y espacios muestrales	2
1.1.2 Axiomas de probabilidad	3
1.1.3 Regla de la adición	3
1.1.4 Regla de la multiplicación	4
1.1.5 Función de densidad	4
1.1.6 Función de distribución acumulada	5
1.1.7 Función de máxima verosimilitud	5
1.1.8 La distribución exponencial	7
1.1.9 La distribución Weibull	10
1.2 CONFIABILIDAD	11
1.2.1 Función de confiabilidad.	11
1.2.2 Tasa de falla instantánea y función de riesgo	12
1.2.3 Algunas propiedades importantes	13
1.2.4 Medición de fallas	14
2. TÉCNICAS DE MANIPULACIÓN DE DATOS	15
2.1 INTEGRACIÓN DE DATOS	15
2.2 RECONOCIMIENTO Y LIMPIEZA DE DATOS	15
2.2.1 Datos ausentes	16
2.2.2 Datos atípicos (Outliers)	16
2.3 TRANSFORMACIÓN DE DATOS	18
2.4 REDUCCIÓN DE DATOS	18
3. ANALISIS DE MODOS DE FALLO Y CONFIABILIDAD POR DIAGRAMAS DE BLOQUE	20
3.1 FMEA	20
3.1.1 Historia del FMEA	20
3.1.2 Descripción del FMEA	20
3.1.3 Metodología del FMEA	20
3.2 FTA	26
3.2.1 Historia del FTA	26
3.2.2 Descripción del FTA	26
3.2.3 Simbología del FTA	27
3.2.4 Fundamentación matemática	28
3.2.5 Metodología del FTA	29
3.3 DIAGRAMAS DE BLOQUES	30

3.3.1	Sistema serie	30
3.3.2	Sistema paralelo	31
3.3.3	Sistema k-de-n	32
3.3.4	Sistema mixto	33
3.3.5	Sistema irreducible	33
4.	ANALISIS PROBABILISTICO DE LA BASE DE DATOS	37
4.1	CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES	37
4.2	MODELO DE ESTADO PARA LOS COMPONENTES	38
4.3	EVENTOS DE SALIDA PARA UN COMPONENTE	40
4.3.1	Eventos planeados	40
4.3.2	Eventos no planeados	40
4.4	COMPORTAMIENTO OPERATIVO PARA UN BLOQUE DE COMPONENTES	40
4.5	INDICES DE CONFIABILIDAD	41
4.6	MODELOS DE CONFIABILIDAD PARA LOS COMPONENTES	42
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA	44
5.1	METODOLOGÍA PROPUESTA	44
5.1.1	Recolección de información	44
5.1.2	Conocimiento y depuración	44
5.1.3	Tratamiento de los datos	44
5.1.4	Obtención del modelo del sistema (serie, paralelo, mixto etc.)	44
5.1.5	Análisis de modos de fallo	45
5.1.6	Calculo de la confiabilidad	45
6.	RESULTADOS Y ANALISIS	46
6.1	CONOCIMIENTO Y DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS	46
6.2	TRATAMIENTO DE LOS DATOS	47
6.3	MODELO DE CONFIABILIDAD DE LA MÁQUINA	52
6.3.1	Perforadora	52
6.3.2	Cortadora	52
6.3.3	Omega 3	53
6.3.4	MW 30	53
6.3.5	PW 20	54
6.3.6	PW 30	54
6.3.7	Diagrama de la conformadora de rollos	55
6.4	IDENTIFICACION DE LOS ELEMENTOS CRITICOS CON FMEA	55
6.5	CONFIABILIDAD POR DIAGRAMAS DE BLOQUE	62
6.6	INCONFIABILIDAD POR ARBOL DE FALLA	72
6.7	ANALISIS DE LOS RESULTADOS	85
6.7.1	Análisis del sistema a un año considerando solo las violaciones en los bloques operativos y en los elementos	85
6.7.2	Análisis hipotético del sistema a un año	89
6.7.3	Análisis del sistema a un año considerando violaciones en el sistema, bloques operativos y elementos	92

6.7.4	Análisis de confiabilidad considerando los elementos más críticos del sistema	95
6.7.5	Ventajas y desventajas de la técnica de modos de falla	96
7.	CONCLUSIONES	97
8.	RECOMENDACIONES	100
	BIBLIOGRAFIA	103
	RESULTADOS	107
	ANEXOS	108
A.1	BASE DE DATOS INICIAL	108
A.2	BASE DE DATOS PARA EL ANALISIS	110
A.3	FOTOS DE LA MAQUINA	122

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Formato básico de rutina FMEA	21
Tabla 2 Tabla de severidad (S)	24
Tabla 3 Tabla de ocurrencia (O)	25
Tabla 4 Tabla de detección (D)	25
Tabla 5 Símbolos de operadores lógicos para el árbol de fallas	27
Tabla 6 Símbolos de eventos para el árbol de fallas	28
Tabla 7 Axiomas del algebra de Boole	28
Tabla 8 Teoremas del algebra de Boole	28
Tabla 9 Tabla de clasificación de los componentes del sistema	37
Tabla 10 Tabla de componentes por bloque	38
Tabla 11 Tabla de Índices Confiabilidad	41
Tabla 12 Tabla de Modelos de Confiabilidad	43
Tabla 13 Número de datos: iniciales, filtrados y útiles para el análisis	46
Tabla 14 Modelos y coeficientes para la fdp de cada componente	48
Tabla 15 Estadísticas de tiempos medios por componente	50
Tabla 16 Estadísticas de tasas por componente	51
Tabla 17 Tabla de índice de ocurrencia utilizado	56
Tabla 18 Formato FMEA y calculo RPN	57
Tabla 19 Numeración de los elementos y ranking de RPN	61
Tabla 20 Confiabilidad para la conformadora de rollos para un año	62
Tabla 21 Relación número – elemento	74
Tabla 22 Inconfiabilidad por árbol de falla	75
Tabla 23 Comparativo de elementos para análisis a un año	85
Tabla 24 Elementos críticos de acuerdo FTA y diagrama de bloques	87
Tabla 25 Día para intervención del bloque operativo	87

Tabla 26 Cronograma para mantenimiento general y de oportunidad	88
Tabla 27 Comparativo empacadoras caso real vs caso hipotético	89
Tabla 28 Comparativo RPN caso real vs caso hipotético	89
Tabla 29 Comparativo Sistema vacío Omega 3 caso real vs caso hipotético	90
Tabla 30 Extensión del periodo de confiabilidad del sistema total por mantenimiento al sistema vacío en el día 100.	91
Tabla 31 Estado del sistema para el día antes y después de mantenimiento	93
Tabla 32 Confiabilidad promedio antes del mantenimiento	94
Tabla 33 Confiabilidad del sistema interviniendo solo los elementos más críticos	95
Tabla 34 ventajas y desventajas de la técnica de modos de falla	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Distribución exponencial para diferentes tasas de falla	8
Figura 2 Tasa de falla constante para distribución exponencial	9
Figura 3 Función de distribución acumulativa Weibull	10
Figura 4 Gráfica de la función de Confiabilidad	12
Figura 5 Algoritmo del FMEA	22
Figura 6 Tina de baño o Bath-tub	23
Figura 7 Sistema serie	30
Figura 8 Sistema paralelo	31
Figura 9 Sistema k-de-n	32
Figura 10 Sistema mixto	33
Figura 11 Sistema irreducible	34
Figura 12 Estructura equivalente de caminos mínimos	34
Figura 13 Estructura equivalente para un sistema irreducible	35
Figura 14 Descomposición mediante pivotes de sistema irreducible	36
Figura 15 Modelo de dos estados para un componente	39
Figura 16 Comportamiento de un componente en función de sus estados	39
Figura 17 Diagrama de bloques perforadora	52
Figura 18 Diagrama de bloques cortadora	52
Figura 19 Diagrama de bloques omega 3	53
Figura 20 Diagrama de bloques MW 30	53
Figura 21 Diagrama de bloques PW 20	54
Figura 22 Diagrama de bloques PW 30	54
Figura 23 Diagrama de bloques conformadora de rollos	55
Figura 24 Gráficos confiabilidad por elemento de la perforadora	63
Figura 25 Gráfico confiabilidad perforadora	64

Figura 26 Gráficos confiabilidad por elemento de la cortadora	65
Figura 27 Gráfico confiabilidad cortadora	66
Figura 28 Gráficos confiabilidad por elemento en la omega 3	66
Figura 29 Gráfico confiabilidad omega 3	68
Figura 30 Gráficos confiabilidad por elemento de la MW 30	68
Figura 31 Gráfico confiabilidad MW 30	69
Figura 32 Gráficos confiabilidad por elemento de la PW 20	70
Figura 33 Gráfico confiabilidad PW 20	71
Figura 34 Gráfico confiabilidad por elemento de la PW 30	71
Figura 35 Gráfico confiabilidad PW 30	72
Figura 36 Gráfico confiabilidad conformadora de rollos	72
Figura 37 Representación gráfica del árbol de fallos	73
Figura 38 Gráficos inconfiabilidad por elemento de la perforadora	76
Figura 39 Gráfico inconfiabilidad perforadora	77
Figura 40 Gráficos inconfiabilidad por elemento de la cortadora	77
Figura 41 Gráfico inconfiabilidad cortadora	78
Figura 42 Gráficos inconfiabilidad por elemento de la omega 3	79
Figura 43 Gráfico inconfiabilidad omega 3	80
Figura 44 Gráficos inconfiabilidad por elemento de MW 30	81
Figura 45 Gráfico inconfiabilidad MW 30	82
Figura 46 Gráficos inconfiabilidad por elemento de PW 20	82
Figura 47 Gráfico inconfiabilidad PW 20	83
Figura 48 Gráfico inconfiabilidad por elemento de PW 30	84
Figura 49 Gráfico inconfiabilidad PW 30	84
Figura 50 Gráfico inconfiabilidad conformadora de rollos	85

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de confiabilidad a una conformadora de rollos que pertenece a la sección de conversión en una empresa papelera a partir de la base de datos de mantenimiento usando la técnica de modos de fallo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Estudiar las metodologías asociadas al pre-procesamiento de datos estadísticos.
- b. Determinar los modelos, las tasas de falla y la función de confiabilidad de los componentes del proceso.
- c. Determinar las ventajas y desventajas de la técnica de modos de falla, para la evaluación de la confiabilidad.
- d. Determinar los modos de falla críticos para el proceso y dar ideas para corregirlos.
- e. Divulgar el trabajo a través de una publicación en revista especializada.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de un grupo de mantenimiento en una empresa, es el de garantizar el funcionamiento correcto y continuo de todas las líneas de producción, para cumplir con este propósito, se pueden elaborar planes desde los más simples y básicos, hasta los más elaborados y sistematizados.

En mantenimiento clásico, es de vital importancia conocer las características y el estado de operación de una máquina en su totalidad, gracias a este conocimiento en algunos casos es posible anticiparse a la falla, y con ello prever daños que a futuro ocasionarían pérdidas en producción que se reflejarían en costos. Lo anterior está limitado por la experiencia de quien ejecuta las labores de mantenimiento, lo cual hace al sistema dependiente, y ante la falta de estas, no se tendría certeza de si el comportamiento de la máquina es correcto o incorrecto. De ahí la importancia de llevar un registro de fallas y tiempos de mantenimiento, y con estos datos históricos realizar un análisis de confiabilidad para estimar sin necesidad de la experiencia de un operador o personal de mantenimiento, el tiempo aproximado en el cual fallará un componente del sistema.

Apoyados en una base de datos, se realizará un análisis estadístico de confiabilidad utilizando la técnica de modos de fallos en la conformadora de rollos de una empresa papelerera, y con esto poder estimar el tiempo de falla de las diferentes partes del sistema, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de los componentes ya que con la información entregada por el análisis, se pueden tomar las medidas necesarias para tener en stock las piezas suficientes para la reparación, o los insumos necesarios, para la labor de mantenimiento mucho antes de que la máquina falle.

1. CONCEPTOS DE PROBABILIDAD Y CONFIABILIDAD

El campo de la estadística tiene que ver con la recopilación, presentación y análisis de datos para tomar decisiones y resolver problemas. De ahí la importancia de la estadística en el campo de la ciencia como en la vida diaria, ya que las técnicas estadísticas se utilizan en casi todos los aspectos. Por ejemplo, se hacen encuestas para recolectar información antes de las elecciones, para la imposición de un nuevo producto en el mercado con el fin de prever su aceptación y un sin número más de aplicaciones; debido a todo esto, se pretende recalcar la importancia de la estadística en este capítulo por medio de la recopilación de los temas más importantes dentro de la probabilidad y estadística para dar un panorama más amplio de los temas a desarrollar.

1.1 PROBABILIDAD

Posibilidad de que se produzca un suceso o aparezca un valor de entre el conjunto de casos o situaciones consideradas.

Inicialmente desarrollada en el campo de los juegos de azar y con una estrecha relación entre las posibilidades y las probabilidades. Esta idea solo es aplicable cuando los eventos son igualmente probables, de esta forma es fácil saber y cuantificar la posibilidad de que se presente algún resultado de un experimento aleatorio; esta cuantificación se hace asignando un número entre $[0, 1]$, un ejemplo sencillo puede ser la posibilidad de que llueva en un determinado día [1].

1.1.1 Evento y espacios muestrales

Un evento se encuentra asociado al espacio muestral, siendo un espacio muestral el conjunto de los posibles resultados de un experimento aleatorio denotado en la literatura con la letra S . Además, la clasificación de los espacios muestrales viene ligada al número de datos con que cuenta: *discretos*, cuando contienen un número finito o numéricamente infinito de elementos, mientras que los *continuos*, contienen un número infinito no contable de elementos.

Existen dos tipos de experimentos que son:

- **Determinísticos:** los cuales se efectúan bajo condiciones que determinan el resultado del mismo.
- **No Determinísticos o Aleatorios:** llamados así, porque no se puede predecir su resultado aun teniendo en cuenta las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo el experimento proporcionando diferentes resultados aun cuando se repita siempre de la misma manera.

1.1.2 Axiomas de probabilidad

Se cumplen para un experimento aleatorio.

1. $P(S) = 1$
2. $0 \leq P(E) \leq 1$
3. $P(E_1 \cup E_2) = P(E_1) + P(E_2)$

Nota: El tercer axioma se presenta cuando ambos eventos son mutuamente excluyentes (dos eventos son mutuamente excluyentes cuando su intersección es cero).

Donde:

S , es el espacio muestral

E , es un evento

$P(E)$, la probabilidad del evento E

Con estos axiomas presentes se pueden inferir las siguientes conclusiones:

1. $P(\emptyset) = 0$, queriendo decir que la probabilidad de un conjunto vacío es cero.
2. $P(E') = 1 - P(E)$, de igual forma, la probabilidad de E' es 1 menos la probabilidad del complemento del evento E .

1.1.3 Regla de la adición

- Eventos independientes

- Eventos independientes pero no mutuamente exclusivos

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) * P(B)$$

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_k) = \sum_{i=1}^k P(A_i) - \sum_{i < j=2}^k P(A_i \cap A_j) + \sum_{i < j < r=3}^k P(A_i \cap A_j \cap A_r) + \dots \\ \dots + (-1)^{k-1} P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k)$$

- Eventos independientes y mutuamente exclusivos

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Si hay n eventos independientes, entonces

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = \sum_{i=1}^n P(A_i)$$

- Eventos dependientes

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(B|A) * P(A)$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A|B) * P(B)$$

Si A y B son eventos complementarios:

$$P(A) + P(B) = 1$$

$$P(A) = 1 - P(B)$$

1.1.4 Regla de la multiplicación

- Eventos independientes

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B)$$

Si hay n eventos independientes, entonces:

$$P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i)$$

- Eventos dependientes

$$P(A \cap B) = P(A|B) * P(B) = P(B|A) * P(A)$$

$P(A|B)$ se lee: “La probabilidad de A dado que B ocurrió”

1.1.5 Función de densidad

Mediante la función de densidad, las variables aleatorias toman diversos valores dentro de su amplitud, los cuales son descritos por la Función de Densidad o dicho de otra forma, la función de densidad de probabilidad es la razón de cambio de la variable aleatoria X con respecto a los valores de probabilidad de la variable.

$$f_x(x) = \frac{dF_x(x)}{dx}$$

Para la anterior expresión se tiene que es mayor igual a cero para cualquier x entre $(-\infty, +\infty)$ o sea $f_x(x) \geq 0$

1.1.6 Función de distribución acumulada

La función de distribución acumulada sirve para calcular la probabilidad dentro de un intervalo, y se define como:

$$F_x(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_x(x) dx$$

Propiedades

1. $\lim_{x \rightarrow -\infty} F_x(x) = 0$

2. $\lim_{x \rightarrow \infty} F_x(x) = 1$

3. $P(a < x < b) = \int_a^b f_x(x) dx = F(b) - F(a)$

De la tercera propiedad $f_x(x)$ es la Función de Densidad correspondiente a la Función de Distribución $F_x(x)$

1.1.7 Función de máxima verosimilitud

En la literatura normalmente se representa con la letra L , es definida como la probabilidad de observar una muestra aleatoria en una población y se utiliza para obtener un estimador puntual de los parámetros poblacionales.

Dada una muestra aleatoria de una función $f(x)$ con distribución de probabilidad $f(x, \theta)$ donde θ es un parámetro desconocido, y sean x_1, x_2, \dots, x_n los datos observados en una muestra aleatoria de tamaño n . La Función de Máxima Verosimilitud de la muestra es:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta)$$

Donde:

$f(x_i; \theta)$ = Función de densidad (probabilidad de tener x_i en la muestra)

θ = Parámetro o conjunto de parámetros para la distribución dada.

Siendo $L(\theta)$ la verosimilitud de la muestra que a su vez es la “probabilidad” de observar la muestra. Por lo tanto el estimador de máxima verosimilitud es un estimador que maximiza la probabilidad de ocurrencia de los valores muestrales.

Para el caso de variables aleatorias continuas, se tiene que la función de máxima verosimilitud está dada por:

$$L(\theta) = f_{\theta}(X_1) f_{\theta}(X_2) \dots f_{\theta}(X_n)$$

Se dice que hay un $\hat{\theta}$ que hace que $L(\theta)$ sea máximo sobre todos los valores de θ , por lo tanto, la función que maximiza la Función de Máxima Verosimilitud está dada por:

$$L(\hat{\theta}) = \text{MAX } L(\theta) \quad \forall \theta$$

Teniendo en cuenta que el logaritmo natural es una función continua, creciente y que se maximiza en el mismo punto que la función original, es posible usar la siguiente igualdad para facilitar el cálculo:

$$l = \ln(L)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior la Función de Máxima Verosimilitud, se tiene:

$$l = \ln \prod_{i=1}^n f(x_i)$$

Una forma de calcular los estimadores es: una vez obtenida la expresión l , se deriva respecto a cada estimador correspondiente, igualando posteriormente a cero la derivada y finalmente despejando el estimador deseado.

Para dar claridad al concepto de máxima verosimilitud, se toma como ejemplo el cálculo para la distribución exponencial, tomando n variables aleatorias; siguiendo el procedimiento descrito anteriormente y descrito en [1].

Ejemplo. Encontrar el estimador de Máxima Verosimilitud de λ de la distribución exponencial. Si se tiene una muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n de una distribución exponencial con una tasa de llegada de λ (parámetro que se definirá en el numeral 1.1.8)

Solución:
Sea

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad x > 0$$

Reemplazando la función de densidad $f(x)$ en la ecuación (1.1); que es la función de máxima verosimilitud se tiene:

$$L(\lambda) = \prod_{i=1}^n \lambda e^{-\lambda x_i}$$

Aplicando la expresión (1.2) para facilitar los cálculos se tiene:

$$l = \ln(L)$$

$$l = \ln \left[\prod_{i=1}^n \lambda e^{-\lambda x_i} \right]$$

$$l = \sum_{i=1}^n \ln \left[\lambda e^{-\lambda x_i} \right]$$

$$l = \sum_{i=1}^n [\ln \lambda - \lambda x_i]$$

$$l = n \ln \lambda - \lambda \sum_{i=1}^n x_i$$

Como la variable de interés es λ y además es la que se quiere estimar; se deriva respecto a ella obteniendo:

$$\frac{dl}{d\lambda} = \frac{n}{\lambda} - \sum_{i=1}^n x_i$$

Para luego igualarla a cero como menciona el procedimiento y despejando la variable de interés teniendo: [1]

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

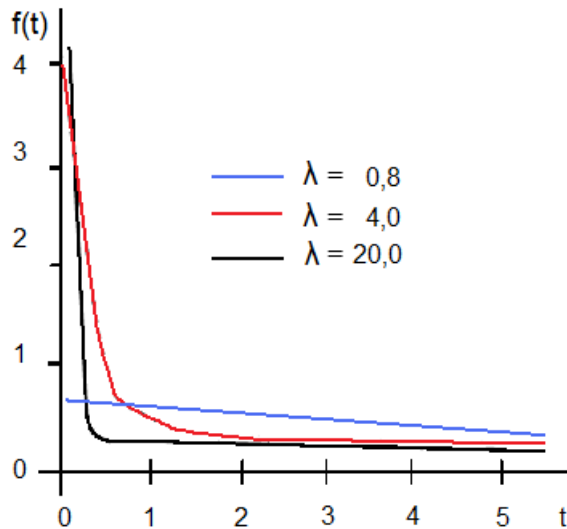
1.1.8 La distribución exponencial

Recibe su nombre de la función exponencial que aparece en la función de densidad. Esta distribución tiene como particularidad, “no recordar” cuánto tiempo

ha estado operando; es decir, existe la misma probabilidad de que el sistema falle independientemente del tiempo que lleve operando.

Tiene como parámetro a λ (tasa de falla) el cual es su escala, y sus unidades son número de ocurrencias entre unidades de tiempo, en la Figura 1 se aprecia la distribución exponencial para distintos valores de λ .

Figura 1 Distribución exponencial para diferentes tasas de falla



En ingeniería la distribución exponencial es ampliamente usada como un modelo de tiempo de falla de un componente o sistema, en esta aplicación el parámetro λ es llamado *tasa de fallas del sistema* y la *media* de la distribución $1/\lambda$ es llamado *tiempo medio de falla*.

De la función de densidad de la distribución exponencial se obtiene la varianza, la cual tiene la siguiente presentación

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

La función de densidad de probabilidad es la que trata de expresar las distribuciones de probabilidad por medio de expresiones matemáticas, siendo estas las responsables de que se puedan calcular las probabilidades asociadas con las variables aleatorias. La *función de densidad para la distribución exponencial* está dada por:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0$$

Donde:

λ = Número de fallas por unidad de tiempo

t = Variable aleatoria que mide el tiempo de falla, siendo necesariamente mayor o igual a cero.

La *Función de Distribución Acumulativa* se obtiene integrando la función de densidad de la distribución exponencial así:

$$F(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad t \geq 0$$

Nótese que dada la Función de Distribución Acumulativa y la siguiente expresión $R(t) = 1 - F(t)$ se puede definir la función de confiabilidad.

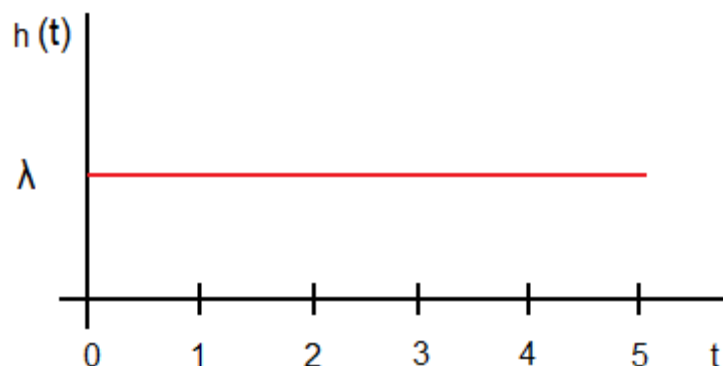
$$R(t) = \begin{cases} e^{-\lambda t}, & t > 0 \\ 1, & t \leq 0 \end{cases}$$

Para esta distribución, la *tasa de fallos* está definida como el cociente de la Función de Densidad y la Función de Confiabilidad [1] [2].

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$

Cabe anotar que esta es una característica que solamente posee la distribución exponencial, única distribución con una tasa de fallas constante, ya que solamente se reduce al valor de λ ; siendo su gráfica representativa la siguiente:

Figura 2 Tasa de falla constante para distribución exponencial



1.1.9 La distribución Weibull

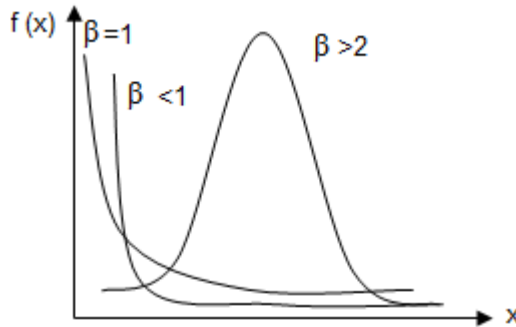
La distribución Weibull es a menudo usada para modelar el tiempo de falla de muchos componentes físicos. Los parámetros en la distribución dan una gran idea de la flexibilidad para modelar sistemas, en los cuales el número de fallas se incrementa con el tiempo (desgaste en un rodamiento), o decrece con el tiempo (algunos semiconductores). Esta distribución puede ser usada como un modelo de fallas causadas por procesos de fallas; cuenta principalmente con dos parámetros que definen su comportamiento: β , el cual es conocido como parámetro de forma y δ , que es parámetro de escala, conocido también como característica de vida. Ambos parámetros deben cumplir el que sean mayores que cero.

Para una variable aleatoria x la función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta\right] \quad \text{para } x > 0$$

La flexibilidad de la función Weibull queda demostrada en la Figura 3, al variar los parámetros β y δ y al hacer β igual a 1 el comportamiento de la función de distribución acumulativa de la Weibull es similar a la de la exponencial así:

Figura 3 Función de distribución acumulativa Weibull



Similarmente, si x tiene la distribución Weibull con parámetros β y δ , entonces la distribución de función acumulativa es:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta}$$

De igual forma, la varianza y la desviación estándar para la distribución Weibull

$$\mu = E(x) = \delta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$\sigma^2 = V(x) = \delta^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \delta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2$$

1.2 CONFIABILIDAD

El diseño y operación de sistemas comprende los aspectos más amplios de la organización y operación de un equipo. Turnos de operación, turnos de mantenimiento y las habilidades necesarias para la actuación del sistema como una entidad unificada son aspectos que garantizan el correcto funcionamiento de un sistema o proceso. Los sistemas complejos realizan un cierto número de funciones, tienen elevados costos y requieren de importantes instalaciones de apoyo. Una de las preocupaciones principales es la actuación del sistema, y las consecuencias de las fallas también se evalúan cuidadosamente. En el área de fabricación de productos para el consumidor, se espera una alta confiabilidad así como el cumplimiento de otras importantes características de calidad.

La confiabilidad engloba varias actividades y una de ellas es el planteamiento de modelos de confiabilidad, esto es fundamentalmente la probabilidad de supervivencia del sistema. Se expresa como una función de las confiabilidades de los componentes o subsistemas, los cuales generalmente dependen del tiempo. Otra actividad de la confiabilidad es la de las pruebas de curación y estimación de la confiabilidad.

Confiabilidad debe ser definida, como la habilidad de un producto o sistema para desempeñar por encima de un período de tiempo de acuerdo a las especificaciones de tiempo o a las especificaciones del consumidor [1].

1.2.1 Función de confiabilidad.

La Función de Distribución Acumulativa para una población es llamada *distribución de vida* y se denota como $F(t)$. La $F(t)$ se interpreta como la proporción de componentes, equipos o sistemas que fallan antes o hasta el tiempo t

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx, \quad t \in [0, \infty]$$

Donde: t es la variable aleatoria que indica el tiempo de fallas.

La Función de Distribución Acumulativa se puede interpretar de dos maneras:

1. La probabilidad o seguridad de que una unidad de la población falle antes de t unidades de tiempo
2. Fracción de la población que falla antes de t unidades de tiempo (incluye el tiempo t)

La función de confiabilidad, es un complemento de la Función de Distribución Acumulativa y esta tiene una peculiar atención en la confiabilidad, ya que se centra en las unidades que no fallan en un tiempo t [3].

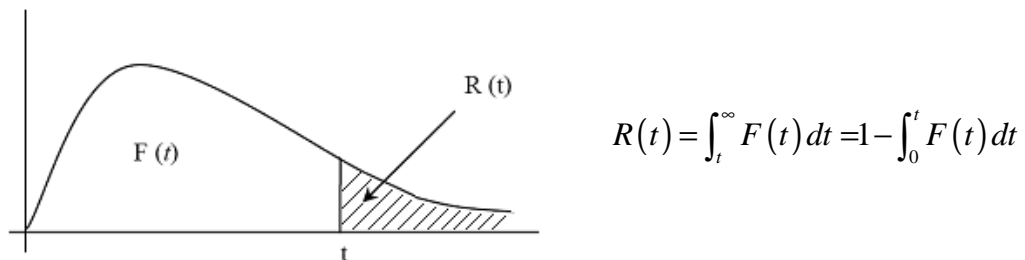
La función de confiabilidad se define de la siguiente manera:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Esta función se puede interpretar de la siguiente forma:

1. La probabilidad de que una unidad de la población no haya fallado antes del tiempo t .
2. Fracción de la población que sobrevive al tiempo t .

Figura 4 Gráfica de la función de Confiabilidad



1.2.2 Tasa de falla instantánea y función de riesgo

Esta función también es conocida como tasa instantánea de Falla o Tasa de Riesgo. Las unidades de la tasa de falla $h(t)$ son:

$$\frac{\text{número de fallos}}{\text{unidad de tiempo}}$$

Nota: Es de aclarar que $h(t)$ no es una probabilidad y puede tomar valores arriba de 1, aunque exceptuando valores negativos.

La Tasa de Fallas se puede definir como la proporción de fallas por unidad de tiempo. La función de riesgo especifica las fallas instantáneas o la tasa de muerte en el tiempo t dado que un objeto ha sobrevivido hasta el tiempo t . La tasa de falla instantánea está definida como:

$$TF(t, t + \Delta t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{t + \Delta t - t} * \frac{1}{R(t)}$$

Donde:

$F(t + \Delta t)$: Función de Probabilidad Acumulativa en el tiempo $t + \Delta t$.

$F(t)$: Función de Probabilidad Acumulativa en el tiempo t .

$R(t)$: Función de confiabilidad.

La función de riesgo $h(t)$ se obtiene cuando el incremento de t es cercano a cero y se define como:

$$\begin{aligned} h(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} TF(t, t + \Delta t) \\ &= \frac{1}{R(t)} \lim_{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \\ &= \frac{F'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \end{aligned}$$

De esta manera $h(t) \Delta t$ aproxima la probabilidad de falla de muerte en el intervalo de tiempo $[t, t + \Delta t]$, dado que sobrevive hasta el tiempo t [2] [3].

1.2.3 Algunas propiedades importantes

Unas pocas fórmulas y axiomas importantes se pueden derivar sin dificultad, usando las reglas básicas para calcular probabilidades de eventos, estas reglas son la multiplicación y la del complemento.

- La probabilidad de que n componentes idénticos independientes, cada uno con una función de confiabilidad de $R(t)$, sobreviva después de t horas es $[R(t)]^n$.
- La probabilidad de que al menos uno de los n componentes idénticos independientes falle en el tiempo t es: $1 - [R(t)]^n = 1 - [1 - F(t)]^n$
- Considerando un sistema compuesto de n componentes idénticos, todos operando independientemente, en términos de trabajar y fallar cada uno de ellos. Si la distribución de vida para cada uno de estos componentes es $F(t)$ y la probabilidad del sistema cuando no está fallando hasta el tiempo t es: $[R(t)]^n$. Si el sistema falla cuando el primero de los componentes falla y además se indica la función de distribución de vida para la población de este sistema por $F_s(t)$, la regla del complemento resulta: $F_s(t) = 1 - [R(t)]^n$

1.2.4 Medición de fallas

Algunos parámetros de medición usados comúnmente para estudiar las fallas que se presentan en un sistema determinado son:

- **La esperanza E(T)** Es la suma del producto de la probabilidad de cada suceso por el valor de dicho suceso. Si todos los sucesos son de igual probabilidad, la esperanza es la media aritmética.
- **Tiempo promedio entre fallas (MTBF)** Es para un período estable en la vida del componente o sistema, el valor medio de la duración de tiempo entre fallas consecutivas contadas como la razón del tiempo observado acumulado y el número de fallas bajo condiciones estables. El tiempo promedio entre fallas para datos exponencialmente distribuidos es $\frac{1}{\lambda}$.
- **Tiempo promedio de falla (MTTF)** Es para un período estable en la vida de un componente o sistema, tiempo acumulado para una muestra del número total de fallas en la muestra durante el período bajo condiciones estables. También interpretado como la vida promedio que un componente o sistema nuevo tendrá hasta que falle. Para datos exponenciales el tiempo promedio de falla está definido por:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

- **Tiempo promedio para reparación (MTTR)** Es el tiempo promedio que toma reparar un componente o un sistema. Para calcular este tiempo se emplea la siguiente formula.

$$MTTR = \frac{\sum_{j=1}^k t_j \lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j}$$

Donde:

λ_j = es la tasa de fallas constante del componente reparable del sistema *j-esimo*.

t_j = es el tiempo requerido para reparar el sistema, donde el *j-esimo* componente falló.

k = es el número de componentes reparables [2][3].

- **Disponibilidad (Availability “A”)** Está definida como el porcentaje de tiempo que un componente o sistema se encuentra en estado operativo.
- **Indisponibilidad (Unavailability “U”)** Está definida como el porcentaje de tiempo que un componente o sistema se encuentra en estado no operativo.

Adicionalmente la disponibilidad y la indisponibilidad son índices complementarios, es decir: $U = 1 - A$

2. TÉCNICAS DE MANIPULACIÓN DE DATOS

La información contenida en una base de datos, tiene la desventaja de contener gran cantidad de ruido (datos con ruido, datos incompletos y datos inconsistentes) lo cual hace necesaria su manipulación. Por tal razón las técnicas de manipulación de datos permiten mejorar la calidad de los mismos, de modo que los resultados que se obtengan de los análisis describan de una forma más clara y real los fenómenos.

Existe gran variedad de técnicas y procedimientos para la manipulación de datos. Para realizar una buena manipulación es de gran importancia que la persona que manipule los datos, tenga un conocimiento suficiente en lo que respecta a su procedencia, naturaleza y características. Entre las diferentes técnicas de análisis se tienen [6]:

- Integración de Datos
- Reconocimiento y limpieza de datos
- Transformación de datos
- Reducción de datos

2.1 INTEGRACIÓN DE DATOS

Para todo análisis es necesario que los datos estén codificados de igual forma, de modo que la información pueda ser tratada sin ningún problema, pero a pesar de que los datos provengan de una misma fuente, pueden presentar variaciones debidas a todos los factores que intervienen en la recolección de los datos como son: cambios en los mecanismos de recolección, personas encargadas de registrar la información, escaso conocimiento de los procesos, etc. todos estos factores originan inconsistencias y redundancia en los datos; por esta razón es que la integración de datos debe ser guiada por el conocimiento humano ya que requiere de una buena comprensión de los mismos [7].

2.2 RECONOCIMIENTO Y LIMPIEZA DE DATOS

Es necesario realizar una limpieza a los datos que se quieren analizar, ya que estos tienen la desventaja de contener gran cantidad de ruido (valores ausentes y datos atípicos). Dependiendo del tipo, naturaleza y la información de procedencia de los datos, se pueden establecer diferentes metodologías para su tratamiento, entre las cuales se tiene los métodos manuales y los métodos estadísticos, si los datos son altamente dependientes de algún atributo (información o descripción) la limpieza debe hacerse en forma manual y requiere ser manipulada por un individuo que tenga un buen conocimiento de las características de los datos, en el

caso en que los datos no posean atributos cualitativos (solo se tienen datos numéricos) su manipulación se hará por medio de análisis estadístico para identificar los datos nulos y los datos atípicos (Outliers), otro método para realizar la limpieza de los datos es por medio de análisis gráfico, entre los diferentes tipos de análisis gráfico se tienen: Histograma de frecuencias, Diagrama de tallos y hojas, Gráfico de cajas y bigotes, Gráficos de simetría y Gráficos de dispersión.

2.2.1 Datos ausentes

En las bases de datos es común la ausencia de valores, esto por lo general se debe a problemas en la toma o transcripción de los datos. Para corregir este problema, existen diferentes metodologías entre las cuales se tienen:

- Eliminación del dato ausente (puede llevar a la pérdida de información importante presente en los datos eliminados).
- Llenar el dato ausente con una constante (se debe sustituir el dato ausente con un valor que incida poco en los resultados, como valores se pueden tomar “la media” o “la moda”).

2.2.2 Datos atípicos (Outliers)

Los datos atípicos son observaciones que poseen características que hacen que estos se salgan de la tendencia de las demás observaciones.

Para determinar si estos datos aportan o distorsionan el análisis estadístico, es importante evaluar el tipo de información que estos pueden proporcionar, ya que en algunos casos estos datos pueden representar características importantes de la población y son un indicativo de falta de representatividad de la muestra.

- Tipos de outliers

Los datos atípicos se pueden clasificar en 4 categorías.

- Primera: agrupa los datos atípicos que surgen de un error de procedimiento, tal como error en la digitación de la base de datos. Este dato se debe eliminar en el filtrado de la información.
- Segunda: corresponde a los datos que aparecen como consecuencia de un acontecimiento extraordinario, estos datos se deben eliminar de la población ya que no representan a la población.
- Tercera: corresponde a las observaciones cuyos valores se encuentran en el rango de las variables, pero que son únicas en la combinación de los valores de dichas variables. Estas observaciones deberían ser retenidas en el análisis, pero estudiando qué influencia ejercen en los procesos de estimación de los modelos considerados.
- Cuarta: corresponde a los datos que aparecen como consecuencia de un acontecimiento extraordinario y para los cuales el investigador no tiene

explicación. Cuando se tiene este tipo de datos es recomendable realizar el análisis con y sin los datos con el objetivo de verificar que tanto afectan los resultados [4] [5].

- Identificación de outliers

Dependiendo del número de variables que se tengan, el análisis de datos atípicos se puede abordar desde el punto de vista univariante o multivariante.

Para el caso en el que aplica el análisis univariante se debe obtener el modelo que mejor describe los datos para cada variable, y así los datos que se alejen del modelo serán considerados como datos atípicos. Para determinar que tanto se aleja un dato del modelo existen dos formas, la primera es de forma gráfica utilizando Histogramas, Diagramas de Caja y Bigotes en el cual los datos atípicos se presentan como puntos aislados en el extremo de los bigotes y Diagramas de Control el cual es la representación gráfica de los datos y tres líneas horizontales más de las cuales la central, representa el valor medio de los datos y las otras dos líneas, representan la línea de control superior (LCS) e inferior (LCI) respectivamente, generalmente el valor para la línea de control superior e inferior está determinado por tres veces la distribución típica, ya que para este valor se considera que todos los datos que se encuentran entre el límite superior e inferior, hacen parte de la población y los que quedan por fuera de los límites deben ser eliminados, y la segunda es matemáticamente por medio del cálculo del residuo r_i , el cual al ser comparado con un umbral, permite definir si el dato se debe eliminar o no. Si el residuo es mayor que el umbral, el dato se debe eliminar y si el residuo es menor que el umbral, el dato se debe dejar.

$$r_i = \frac{y_i - \bar{y}_i}{S_R} = \frac{\text{error}_i}{S_R}$$

Para el residuo se tiene que aproximadamente un 68% de los r_i están entre -1 y 1, un 95% de los r_i están -2 y 2 y prácticamente todos los r_i están entre -3 y 3. Por esta razón es que si se tienen datos con residuos mayores a 3 y -3 estos se consideran datos atípicos y deben ser eliminados [8]. Existe otro criterio muy usado para determinar que tanto se aleja un dato de la tendencia y este es el coeficiente de Curtosis, el cual al ser considerado como una medida de tendencia central cumple con los objetivos de:

- indicar la manera con la que los datos se reúnen de acuerdo con la frecuencia con la que estén ubicados.
- Identificar las características de la distribución sin la necesidad de hacer el gráfico.

Para el caso en el que aplica el análisis multivariante, este puede realizarse por medio de estadísticos basados en la distancia, como la distancia D^2 de

Mahalanobis el cual permite determinar la distancia al centroide de la distribución. Análisis de Componentes Principales o Clustering. Para el caso bivalente, el análisis se puede hacer por medio de un gráfico de dispersión en el cual el intervalo de confianza es descrito por una elipse o bandas de confianza y en el cual los datos que se encuentren fuera del intervalo, se consideran datos atípicos y deben ser eliminados [5].

Otras posibles medidas ante los datos atípicos pueden ser: Ignorarlos, Eliminar la columna en la cual aparecen, Eliminar la fila en la cual aparecen, Reemplazar los valores por “nulo, máximo o mínimo” y por ultimo Discretizar los datos de modo que los atípicos sean “muy alto” o “muy bajo”). [7]

2.3 TRANSFORMACIÓN DE DATOS

En muchos casos es necesario manipular y transformar los datos, con el objetivo de brindar ciertas características a estos para su correspondiente manipulación, entre las diferentes técnicas se tienen: Discretización, Numeración y Estandarización (Escalado y Centrado). No obstante, es importante tener en cuenta que toda transformación implica riesgo de cambio en los atributos y por consiguiente, se puede obtener una nueva característica diferente a la original la cual podría llevar a resultados erróneos o menos comprensibles [9].

Discretización: Esta técnica permite transformar una variable numérica continua en una variable de tipo discreto.

Numeración: Esta técnica es contraria a la discretización, permite transformar una variable discreta en una variable numérica entera facilitando la manipulación de los datos.

Estandarización: Esta técnica permite unificar la escala de todos los datos brindando una mayor estabilidad matemática a todos los análisis.

2.4 REDUCCIÓN DE DATOS

La reducción de datos es una técnica de gran utilidad, ya que permite reducir el tamaño de la muestra eliminando los datos redundantes y con la característica de que la pérdida de información es mínima y en algunos casos nula. La reducción del tamaño de la muestra presenta diversas ventajas, una de ellas es que al analizar la información el tiempo de procesamiento de los datos se reduce y por ende, se tendrán respuestas mucho más rápido que en el caso en el que se consideran todos los datos originales, otras ventajas de la reducción son: reducción de la sensibilidad al ruido, limpieza de los datos más eficiente y soluciones más simples y fáciles de comprender.

Existen diferentes formas de realizar la reducción de los datos entre las cuales se tienen La Selección y La Construcción de atributos.

- Selección de atributos: En esta etapa se busca identificar un número reducido de atributos que tengan la capacidad de aportar al análisis la misma cantidad de información que contienen los datos originales, lo anterior, hace que la cantidad de información a analizar sea menor y por consiguiente se requiera menos esfuerzo computacional.
- Construcción de atributos: En algunos casos, la información contenida en las muestras no es fácil de interpretar ya que su comportamiento es confuso, por lo tanto para estas muestras es recomendable construir un nuevo atributo que sea más fácil de interpretar utilizando técnicas como: construcción guiada por los datos, por el modelo ó por el conocimiento [7].

3 ANALISIS DE MODOS DE FALLO Y CONFIABILIDAD POR DIAGRAMAS DE BLOQUE

3.1 FMEA

3.1.1 Historia del FMEA

Esta metodología fue desarrollada a finales de la década del 40 por el ejército de los Estados Unidos en conjunto con ingenieros de la NASA, inicialmente fue conocido como el procedimiento militar MIL-P-1629. Su alcance dentro de un plan de mantenimiento era el de evaluar la confiabilidad para determinar los efectos de los fallos en los equipos y sistemas. Posteriormente en la década de los 70 la industria automotriz representada por la Ford Motor Company le dio la esencia a la técnica, catalogándola hoy como una técnica de prevención y anticipación a los posibles efectos que tendría un fallo en el sistema, toda la metodología quedó documentada en la norma QS 9000. Actualmente la técnica de FMEA ha trascendido desde el campo automotriz hacia el industrial y está incluido en la norma ISO 9000 [10] [11].

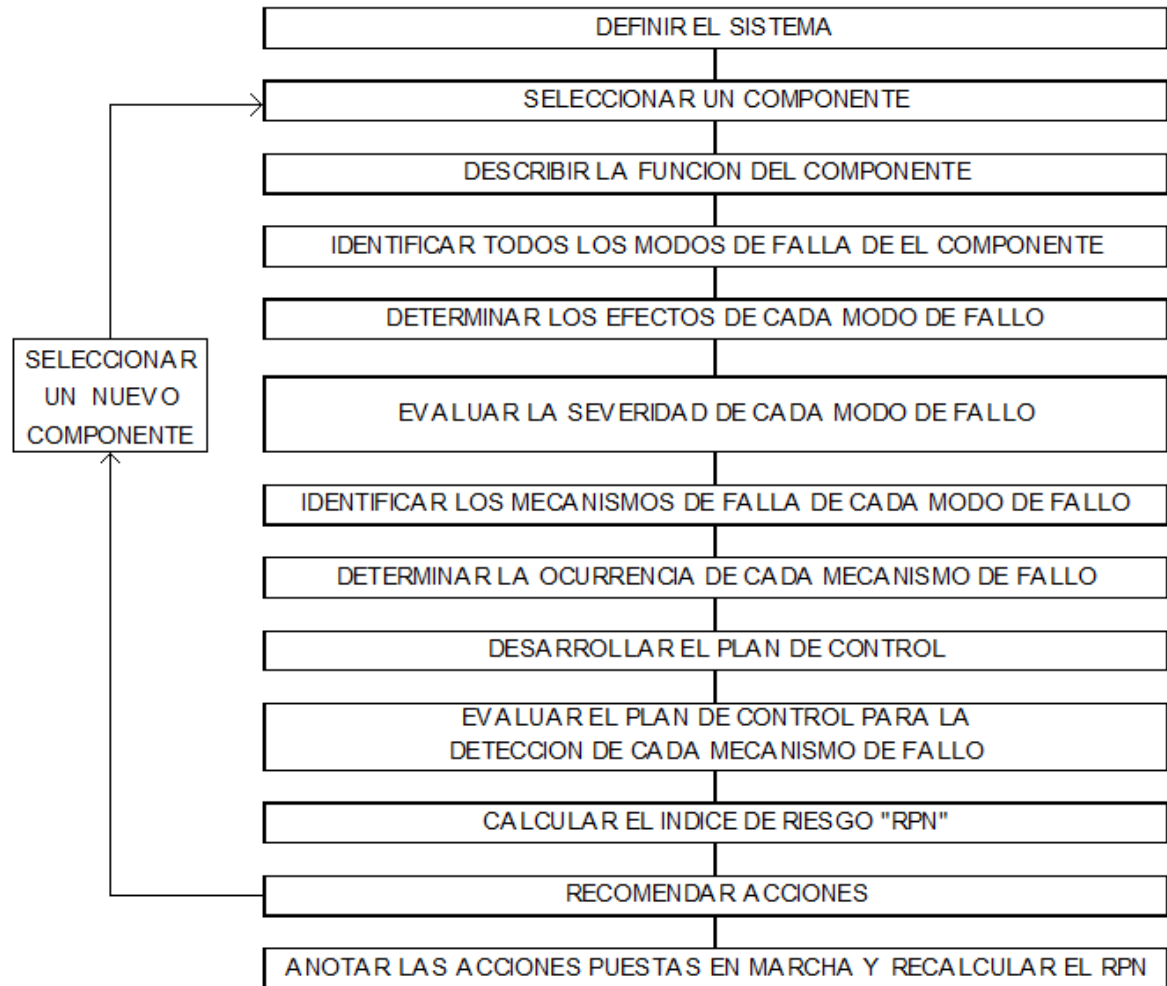
3.1.2 Descripción del FMEA

El análisis de modos y efectos de fallo FMEA, se entiende como una metodología sistemática que se emplea para analizar problemas potenciales de confiabilidad durante el ciclo de vida de un componente, equipo o sistema, éste permite identificar modos de fallo potenciales y su efecto sobre la operación del sistema, facilita la toma de decisiones, permite anticiparse a las fallas y si éstas ocurren, puedan ser superadas rápidamente, todo lo anterior hace que esta metodología contribuya al aumento de la confiabilidad del componente, equipo o sistema [10] [11].

3.1.3 Metodología del FMEA

En la implementación de la metodología del FMEA, inicialmente se debe realizar una investigación previa de la instalación, procesos e históricos de fallos del proceso, se debe contar con un equipo interdisciplinario, el cual basado en su experiencia y en los datos existentes determinen cuales son los posibles modos de fallo y el análisis de sus efectos en el desempeño del sistema, además de proponer soluciones que mejoren los potenciales modos de fallo. Debido a que el FMEA es una metodología que funciona de manera sistemática, es conveniente verificar su desempeño apoyado en los resultados y así realizar los ajustes necesarios para su optimización.

Figura 5 Algoritmo del FMEA [29]



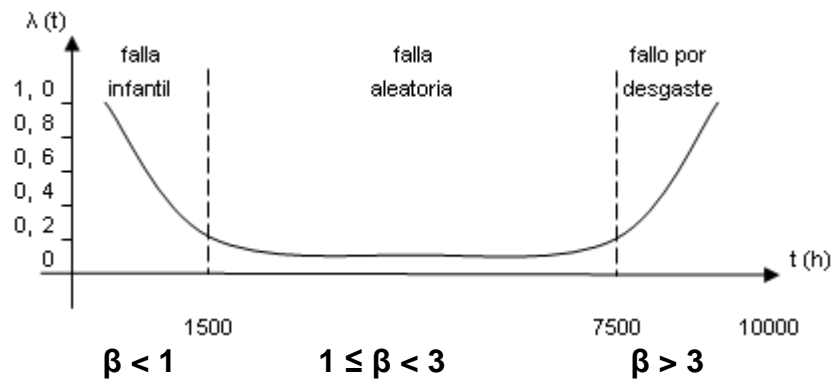
Para implementar el FMEA se deben seguir nueve pasos y estos son:

- a. Describir la función del componente, equipo o sistema.
Debe describirse claramente la función del objeto en estudio, ya que a partir de esto, se tendrán las herramientas suficientes para enfrentar el paso b, para esto es de gran importancia que el equipo de trabajo tenga un buen conocimiento del sistema (partes, elementos, bloques, etc.) para así poder determinar si el objeto está cumpliendo o no a cabalidad con su función.
- b. Identificar los posibles modos de falla del componente, equipo o sistema.
Un modo de fallo está definido por la manera en la cual un componente, equipo o sistema, puede potencialmente fallar. Un modo de fallo en un componente puede ser la causa de fallo en otro componente, se deben tener en cuenta todos los posibles modos de falla desde los más probables hasta los poco probables, todos deben ser etiquetados con términos técnicos para una mejor codificación.

Para llevar a cabo este paso es recomendable documentarse con información de las fallas que han sufrido equipos o procesos similares, y así tener un punto de partida para poder identificar algunos de los posibles modos de falla, teniendo en cuenta que las maquinarias y sistemas tienden a presentar un patrón marcado de fallo que se puede presentar de dos formas, ya sea por fallo relacionado con la edad o por fallo no relacionado con la edad.

Apoyados en la siguiente gráfica se pueden clasificar las fallas en un componente en función del tiempo así: Falla infantil, Falla aleatoria, Fallo por desgaste.

Figura 6 Tina de baño o Bath-tub



I. Falla infantil ($\beta < 1$)

Este tipo de falla se debe a diferentes factores entre los cuales se tienen:

- Defectos en la manufactura.
- Grietas o fisuras en las partes
- Partes defectuosas.
- Mal montaje.
- Bajo control de calidad.
- Contaminación.
- Mal diseño y acabados.
- Malas reparaciones.

II. Falla aleatoria ($1 \leq \beta < 3$)

Este tipo de falla se debe a diferentes factores entre los cuales se tienen:

- Medio ambiente.
- Exceso de carga.
- Mala operación.
- Errores humanos.
- Cambios operacionales o de producción.

III. Fallo por desgaste o envejecimiento ($\beta > 3$)

Este tipo de falla se debe a diferentes factores entre los cuales se tienen:

- Fatiga.
- Corrosión.
- Fricción.
- Carga cíclica (vejez)
- Fallas de los elementos o mecanismos.

c. Determinar los efectos de cada modo de fallo y evaluar la Severidad.

La gravedad de cada modo de fallo en el sistema puede ser medida por un índice de severidad, el cual permite definir en una escala de 1 a 10 su severidad, siendo 1 el valor correspondiente a un modo de falla con un efecto mínimo y 10 el modo de falla con el efecto más severo, para determinar este valor de severidad se requiere de un buen conocimiento del modelo del sistema y la facilidad con la cual se pueda realizar el cambio o la reparación del componente.

Tabla 2 Tabla de severidad (S) [29]

Tipo	Descripción	Índice Severidad
Mínima	Es poco probable esperar que este tipo de fallo cause algún efecto real sobre el funcionamiento del sistema.	1
Baja	El fallo causa sólo ligeras molestias al sistema.	2 3
Moderado	El fallo genera cierta molestia en la operación del sistema.	4 5 6
Alto	Alto grado de molestia en el sistema.	7 8
Muy Alto	El fallo puede causar graves daños en el sistema.	9 10

d. Identificar los mecanismos de falla más probables para cada modo de fallo

Consiste en determinar las causas para cada modo de fallo, una causa de fallo, se define como una debilidad de diseño que puede terminar en fallo. Las causas potenciales de cada fallo deben ser identificadas y documentadas, se deben listar en términos técnicos y no en términos de síntomas.

e. Determinar la Ocurrencia de cada mecanismo de fallo

Para cada una de las causas reseñadas en el paso anterior se hace necesario calcular su respectiva ocurrencia, definiéndose ésta como la probabilidad de que se presente un fallo (tasa de fallas) ante una causa concreta, al igual que el índice

de severidad, el índice de ocurrencia permite definir en una escala de 1 a 10 la ocurrencia de la falla, siendo 1 el valor correspondiente a un fallo improbable y 10 el valor correspondiente a un fallo inevitable.

Tabla 3 Tabla de ocurrencia (O) [29]

Tipo	Descripción	Índice Ocurrencia	Probabilidad de Fallo
Remota	Fallo improbable	1	1 por 100000
Baja	Muy pocos fallos	2	1 por 20000
		3	1 por 4000
Moderada	Fallos ocasionales	4	1 en 1000
		5	1 en 400
		6	1 en 80
Alta	Fallos frecuentes	7	1 en 40
		8	1 en 20
Muy alta	Fallo casi inevitable	9	1 en 8
		10	1 en 2

f. Plan de control a seguir para cada causa de fallo y evaluación de la Detección. Los controles son mecanismos que permiten detectar la existencia de las causas de los modos de fallo, por lo tanto el equipo de mantenimiento debe implementar técnicas que permitan identificar las causas y evaluar que tan fácil es detectarlas. El valor asignado por la evaluación a cada causa de fallo es llamado índice de detección, éste índice permite definir en una escala de 1 a 10 la detección de la falla, siendo 1 el valor correspondiente a un fallo muy fácil de detectar y 10 el valor correspondiente a un fallo muy difícil de detectar.

Tabla 4 Tabla de detección (D) [29]

Tipo	Descripción	Índice Detección
Muy alta	Los controles detectan prácticamente todos los fallos de este tipo.	1
		2
Alta	Los controles tienen una probabilidad elevada de detectar los fallos.	3
		4
Moderado	Los controles pueden detectar algunos de los fallos.	5
		6
Bajo	Los controles tienen poca posibilidad de detectar los fallos.	7
		8
Muy bajo	Los controles muy probablemente no detecten el fallo.	9
Certeza	Los controles son incapaces de detectar el fallo.	10

g. Calcular el Índice de Riesgo RPN y definir prioridades
Determinados los índices de Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D) se procede a calcular el Índice de Riesgo (RPN, Risk Priority Number) el cual es un valor que oscila entre 1 y 1000, para calcular este valor se utiliza la siguiente expresión.

$$RPN = S * O * D$$

Luego de calcular el RPN se debe realizar un ranking con estos resultados de modo que los términos que encabecen el ranking (RPN más altos) corresponden a los elementos más críticos del sistema que se convierten en la prioridad de mantenimiento, el cual debe tomar las medidas necesarias para reducir su índice y por ende mejorar su confiabilidad.

h. Recomendar acciones a seguir
Ya teniendo el RPN, el grupo de mantenimiento debe realizar los cambios y ajustes necesarios a los elementos correspondientes a los RPN más altos para así reducir su índice y por ende mejorar su confiabilidad.

i. Recalcular el RPN
Ya tomadas las medidas necesaria sobre los elementos con mayor RPN se deben calcular nuevamente solo los índices de Ocurrencia y Detección ya que la Severidad, sigue siendo la misma para el sistema y con estos índices recalcular el RPN y así obtener el nuevo Ranking.

3.2 FTA

3.2.1 Historia del FTA

El método de análisis del "Árbol de Fallos" (FTA: Fault Tree Analysis) fue concebido y utilizado por vez primera en la década del 60 por ingenieros de la Bell Telephone Laboratories, a petición de la fuerza aérea norteamericana, con el objetivo de evaluar la confiabilidad de los sistemas de misiles Minuteman.

A partir de ese momento y a la fecha, esta técnica de análisis de riesgos, ha sido profundamente utilizada y perfeccionada por diferentes entes de la industria, demostrando su alcance y versatilidad, pues abarca desde el sector investigativo hasta el campo industrial arrojando óptimos resultados y mejora en el sistema [13].

3.2.2 Descripción del FTA

El FTA es un método deductivo que presenta características excelentes a la hora de localizar, corregir y anticiparse a las fallas, también puede ser usado para determinar las causas que llevaron a que un elemento o sistema fallara. Para llevar a cabo todo esto, el método parte de definir un suceso no deseado, evento o

falla que se pretenda evitar y a partir de él se identifican todos los factores que puedan desencadenar el posible suceso no deseado. Gráficamente todo esto queda plasmado en el árbol de falla, en el cual en la parte superior se tiene el evento no deseado y a partir de él se ramifica en función de las posibles combinaciones de eventos que puedan dar lugar al suceso no deseado, todas las combinaciones se logran a través de operadores lógicos (Puertas Y, Puertas O, Puerta Y prioritaria, Puerta O exclusiva, etc.) y las operaciones están definidas por el álgebra de Boole.

Los eventos se rigen bajo jerarquías que se forman de la combinación de eventos predecesores que en presencia del operador lógico, son el resultado de la combinación de los eventos anteriores emulando las ramas de un árbol, también pueden resultar de la combinación de uno o varios eventos que no dependen de eventos anteriores y un suceso no desarrollado, sea por falta de información o por la poca utilidad que al proceso él representa.

3.2.3 Simbología del FTA [30]

Tabla 5 Símbolos de operadores lógicos para el árbol de fallas












SIMBOLO	NOMBRE SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
	Puerta Y	El suceso de salida ocurrirá si, y solo si ocurren todos los eventos de entrada.
	Puerta O	El suceso de salida ocurrirá si ocurre alguno de los eventos de entrada.
	Puerta Y Prioritaria	El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todos los eventos de entrada ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	Puerta O Exclusiva	El suceso de salida ocurrirá si ocurre una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	Transferencia	Indica que el árbol continúa en otro lugar.
	Puerta de Inhibición	La salida ocurrirá si, y solo si lo hace su entrada.

Tabla 6 Símbolos de eventos para el árbol de fallas

SIMBOLO	NOMBRE SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
	Evento Básico	No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	Evento No Desarrollado	No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	Transferencia	Indica que el árbol continúa en otro lugar.
	Condicionador de evento	Una condición específica (x) o restricción (x) que se aplica a una puerta.
	Evento Intermedio	Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.

3.2.4 Fundamentación matemática

Algunas de las propiedades que se emplean del algebra de Boole para el análisis de árbol de fallas son [13]:

Tabla 7 Axiomas del algebra de Boole

Propiedad conmutativa	$x + y = y + x$
	$x \cdot y = y \cdot x$
Propiedad asociativa	$x + (y + z) = (x + y) + z = x + y + z$
	$x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z = x \cdot y \cdot z$
Propiedad distributiva	$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$
	$(x + y) \cdot z = x \cdot z + y \cdot z$

Tabla 8 Teoremas del algebra de Boole

Propiedad idempotente	$x \cdot x = x$
	$x + x = x$
Ley de absorción	$x \cdot (x + y) = x$
	$x + x \cdot y = x$
	$x + 0 = x$
	$x + 1 = 1$
	$x \cdot 0 = 0$
	$x \cdot 1 = x$
	$x \cdot x' = 0$
	$x + x' = 1$
	$x + x' \cdot y = x + y$

3.2.5 Metodología del FTA

Para implementar el FTA es recomendable seguir una serie de pasos, siendo estos los siguientes [31]:

- a. Definir el sistema a estudiar.
En forma clara se deben definir: función (¿que hace?), características (constructivas, y operativas), estado (operativo o no operativo).
- b. Definir el evento no deseado para el análisis (paro total).
En esta etapa se define el evento (falla) que se desee estudiar, con el objetivo de determinar los posibles eventos que lo desencadenen.
- c. Definir el árbol y su alcance
Para esto, se determinan los eventos que están relacionados directamente con el evento no deseado, para determinarlos el paso es preguntarse “*que eventos hacen que se presente el fallo total*” y en función de esto, se construirá el árbol relacionando cada evento por medio de operadores lógicos (AND, OR, etc.), el alcance está limitado a la cantidad de información que se disponga del sistema (base de datos), experiencia del grupo de estudio y al grado de complejidad que se desee manejar.
- d. Resolver el árbol de falla
Para resolver el árbol de falla, se debe hacer un barrido desde el evento no deseado, hasta llegar a los eventos básicos o eventos no desarrollados que se encuentran en los niveles inferiores, para esto, apoyados en los operadores lógicos se obtiene la función que describe el árbol, la cual es simplificada por medio de los teoremas del algebra de Boole (numeral 3.2.4), obteniéndose así los eventos más críticos, en los cuales se debe centrar el estudio con el fin de corregirlos y así mejorar la confiabilidad del sistema.
- e. Análisis cuantitativo
Para el análisis cuantitativo del árbol (determinación de la probabilidad de falla o inconfiabilidad), se transformará el diagrama de árbol en un diagrama de bloques de la siguiente manera:
 - los elementos que lleguen a una compuerta AND se transformarán en bloques en paralelo.
 - los elementos que lleguen a una compuerta OR se transformarán en bloques en serie.

Para el cálculo de la inconfiabilidad los bloques en paralelo se tratarán como se describe en el numeral 3.3.1 y los bloques en serie se tratarán como se describe en el numeral 3.3.2 pero con la diferencia que se trabajará con los valores de inconfiabilidad y no de confiabilidad.

f. Acciones a tomar

Con respecto a las acciones a tomar, por lo general estas están enfocadas hacia los eventos más críticos detectados que conllevan al evento no deseado, con el fin de recomendar acciones para corregirlos y así aminorar la confiabilidad del sistema.

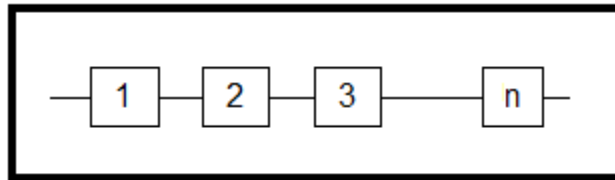
3.3 DIAGRAMAS DE BLOQUES

Para determinar la confiabilidad del proceso, se utilizará el método de diagrama de bloques, este método consiste en modelar cada subconjunto del proceso como un bloque independiente del resto del sistema, y a partir de estos bloques caracterizar u obtener un modelo (serie, paralelo, mixto) con el cual se pueda determinar el índice de confiabilidad, definiéndose estos como:

3.3.1 Sistema serie

Un sistema serie desde el punto de vista de confiabilidad, es aquel en el cual todos los componentes deben funcionar adecuadamente para que el sistema opere, es decir si uno de los componentes falla, el sistema falla [25].

Figura 7 Sistema serie



Para un sistema serie, su confiabilidad cuando n elementos son independientes es:

$$R_s = P[E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n] = P[E_1]P[E_2] \dots P[E_n] = R_1 R_2 \dots R_n$$

Donde $R_1 \dots R_n$ son las confiabilidades individuales de los componentes 1, ..., n

De manera general para n componentes independientes:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad \text{Confiabilidad del Sistema}$$

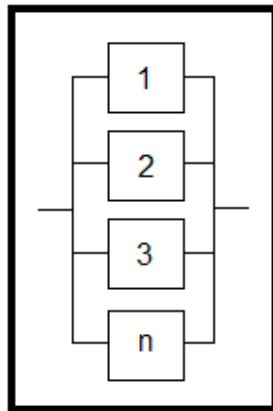
$$Q_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad \text{Probabilidad de Falla del Sistema}$$

Para $R_s(t)$ se puede inferir que la confiabilidad conformada por n componentes individuales conectados en serie, siempre será menor que la confiabilidad del componente menos confiable.

3.3.2 Sistema paralelo

Un sistema paralelo desde el punto de vista de confiabilidad, es aquel en el cual el funcionamiento adecuado de cualquiera de sus n componentes, implica el del sistema [25].

Figura 8 Sistema paralelo



Cabe anotar que en esta configuración, para que el sistema falle, deben fallar todos los n componentes.

$$Q_p = P[\bar{E}_1 \cap \bar{E}_2 \cap \dots \cap \bar{E}_n] = P[\bar{E}_1] P[\bar{E}_2] \dots P[\bar{E}_n] = Q_1 Q_2 \dots Q_n$$

Donde:

Q_n = Son las probabilidades de falla individuales de los componentes *n-esimos*, generalmente son funciones del tiempo.

De manera general para un sistema de n componentes no reparables en paralelo se tiene:

$$Q_p(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t)$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t)$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

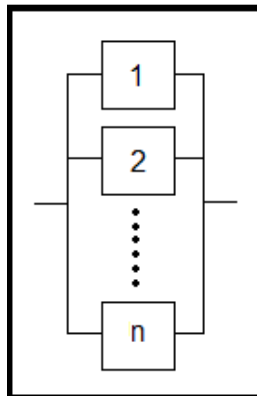
Para $R_p(t)$ se concluye, que la confiabilidad para un sistema en paralelo con n elementos independientes, crece con el aumento de los subconjuntos bajo estudio. Pero el aumento de los elementos para efectos de diseño, presenta las siguientes desventajas:

1. Aumenta el costo del sistema (Costo en inversión y operativo).
2. Dimensionalmente aumenta (El aumento en peso y volumen puede afectar la estructura operacional).

3.3.3 Sistema k-de-n

Un sistema k-de-n es uno en el cual el funcionamiento de k cuales, quiera de los n componentes del sistema, implica el del total del sistema. La manera habitual para construir un sistema k-de-n es partir de un sistema paralelo con la indicación y la notación que muestra que es un sistemas k-de-n [25].

Figura 9 Sistema k-de-n



Sus expresiones para n elementos son:

$$x_i = \text{Estado del Elemento } i$$

$$x_i = 1 \quad \text{Elemento } i \text{ bueno}$$

$$x_i = 0 \quad \text{Elemento } i \text{ fallado}$$

$$\phi = \text{estado del dispositivo}$$

$$\phi = \phi(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_{i=1}^n x_i \geq k & \text{estado operativo} \\ 0 & \text{si } \sum_{i=1}^n x_i < k & \text{estado inoperativo} \end{cases}$$

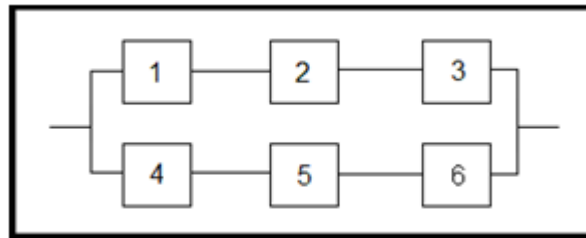
$$R_p(t) = \begin{cases} 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i x_i) & \text{si } \sum_{i=1}^n x_i \geq k \\ 0 & \text{si } \sum_{i=1}^n x_i < k \end{cases}$$

3.3.4 Sistema mixto

Este tipo de sistema está conformado por la asociación de sistemas serie y paralelo, tiene la característica de ser reducible, es decir, se puede llevar hasta un solo bloque el cual representa el sistema en su totalidad.

Para determinar la confiabilidad del sistema se usan las ecuaciones de los sistemas serie y paralelo.

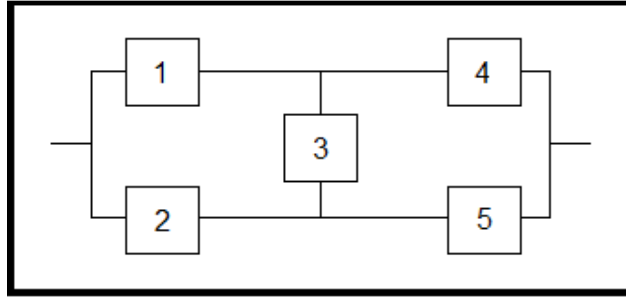
Figura 10 Sistema mixto



3.3.5 Sistema irreducible

Un sistema irreducible es aquel que tras diversas manipulaciones, ya no es posible simplificarse mas, quedando un sistema que no es ni serie ni paralelo; para determinar la confiabilidad de una forma sencilla, se transforma el sistema original en un sistema equivalente serie de estructuras en paralelo (cortes mínimos) o un sistema equivalente paralelo de estructuras en serie (caminos mínimos).

Figura 11 Sistema irreducible



Vector de camino:

Es un vector de estado de los componentes x para el cual $\phi(x) = 1$, y para $y > x$ componentes se tiene que $\phi(y) = 1$. El correspondiente conjunto de camino es $P(x) = \{i | x_i = 1\}$ [12].

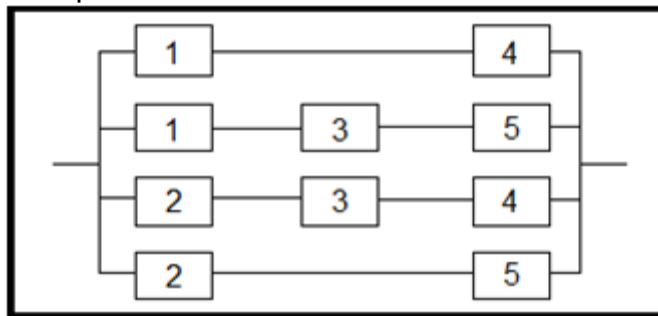
Por ejemplo si el vector de camino es $x = \{1, 0, 0, 1, 0\}$ entonces el conjunto de camino es $P(x) = \{1, 4\}$

Vector de camino mínimo:

Es un vector de camino x para el cual $y < x$ implica que $\phi(y) = 0$, es decir es el conjunto más pequeño de componentes cuya operación hace que el sistema funcione [25].

Todos los componentes en un conjunto de caminos tienen que funcionar para que funcione el camino mínimo, para el gráfico del sistema irreducible la estructura equivalente de caminos mínimos es la de la siguiente figura, la cual es una configuración paralela de estructuras en serie integradas por los componentes de los conjuntos de caminos mínimos.

Figura 12 Estructura equivalente de caminos mínimos



La expresión para calcular la confiabilidad para este sistema equivalente es:

$$R(t) = 1 - \prod_{j=1}^{\text{camino}} \left(1 - \prod_{i=1}^n R_i x_i \right)_j \quad \text{para } x_i = 1$$

Vector de corte:

Es un vector de estado de los componentes x para el cual $\phi(x) = 0$. El correspondiente conjunto de corte es $C(x) = \{i | x_i = 0\}$ [25].

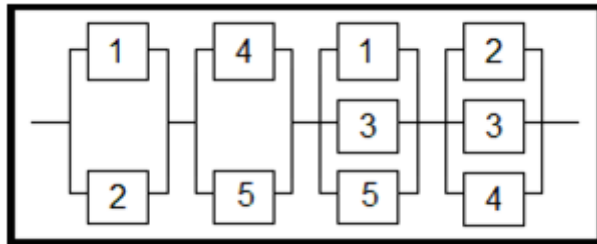
Por ejemplo si el vector de corte es $x = \{1, 0, 0, 1, 0\}$ entonces el conjunto de corte es $C(x) = \{2, 3, 5\}$

Vector de corte mínimo:

Es un vector de corte x para el cual $y > x$ implica que $\phi(y) = 1$, es decir es el conjunto más pequeño de componentes cuyo fallo asegura el fallo del sistema [25].

Cada corte mínimo es suficiente para causar el fallo del sistema, para el gráfico del sistema irreducible la estructura equivalente de cortes mínimos es la de la Figura 13, la cual es una configuración serie de estructuras en paralelo integradas por los componentes de los conjuntos de cortes mínimos.

Figura 13 Estructura equivalente para un sistema irreducible



La expresión para calcular la confiabilidad para este sistema equivalente es

$$R(t) = \prod_{j=1}^{\text{corte}} \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i x_i) \right)_j$$

Descomposición mediante pivotes:

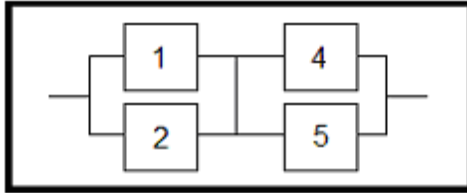
Este método es útil para expresar explícitamente un sistema irreducible y se basa en la siguiente descomposición la cual es válida para cualquier sistema irreducible y vector de estados x [28]:

$$\phi(\mathbf{x}) = x_i \phi(1_i, \mathbf{x}) + (1 - x_i) \phi(0_i, \mathbf{x})$$

Considerando el sistema irreducible de la Figura 11 se puede obtener:

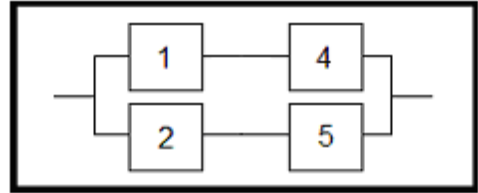
$$\phi(\mathbf{x}) = x_3 \phi(1_3, \mathbf{x}) + (1 - x_3) \phi(0_3, \mathbf{x})$$

Figura 14 Descomposición mediante pivotes de sistema irreducible



Sistema $\phi(1_3, \mathbf{x})$

El elemento 3 nunca falla por lo tanto su estado es 1 y se considera el elemento como una línea en el diagrama.



Sistema $\phi(0_3, \mathbf{x})$

El elemento 3 permanece fallado por lo tanto su estado es 0 y se elimina el elemento del diagrama.

A partir de estos dos sistemas la función del sistema irreducible es la siguiente:

$$\phi(\mathbf{x}) = x_3 (x_1 + x_2 - x_1 x_2) (x_4 + x_5 - x_4 x_5) + (1 - x_3) (x_1 x_4 + x_2 x_5 - x_1 x_2 x_4 x_5)$$

4 ANALISIS PROBABILISTICO DE LA BASE DE DATOS

4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES

La conformadora de rollos operacionalmente funciona de la siguiente forma: Inicialmente la materia prima llega en forma de bobinas al departamento de conversión, para ser llevada a la PERFORADORA cuyo objetivo es generar la línea de corte del rollo de papel y envolver la lámina sobre el core (tubo de cartón) de una longitud de aproximadamente dos metros al espesor requerido según la orden de producción; luego de este proceso el rollo llega a la CORTADORA, donde es cortado de modo que éste quede con el tamaño adecuado según la necesidad, el siguiente paso es llevar el rollo ya cortado a la OMEGA 3 que es la encargada de envolver cada rollo (en papel o en polietileno) según la presentación requerida, y por ultimo serán llevados los rollos envueltos a las EMPACADORAS (MW30, PW20 o PW30) en donde dependiendo del tipo de embalaje, se utilizarán las empacadoras necesarias.

Los componentes del sistema se pueden clasificar según la siguiente tabla.

Tabla 9 Tabla de clasificación de los componentes del sistema

Característica Operativa.	Mecánicos. Eléctricos.
Tipo de Componente.	Reparables. No Reparables.
Bloques Operativos	Perforadora. Cortadora. Omega 3. MW 30. PW 20. PW 30.

Cada Bloque operativo está conformado por diferentes componentes y su descomposición se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 10 Tabla de componentes por bloque

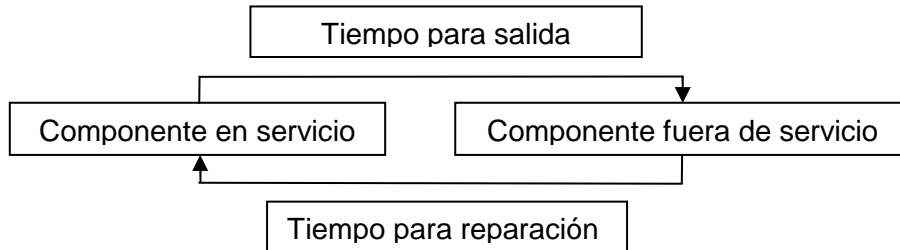
BLOQUE	COMPONENTE
PERFORADORA	Acumulador
	Banda del jinetillo
	Cuchilla descoladora
	Rodajas
	Sistema de moletas
	Gofrador
	Sistema de transferencia
OMEGA 3 (Envolvedora)	Banda Alimentación Rollo
	Sistema de Pinzas
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación
	Sistema de Vacío
	Embutidores
	Sistema Corte de Lámina
	Sistema Succión Bandas de los Tacos
	Sellador Base
	Expulsor de Rollo
CORTADORA	Sistema Cuchilla
	Freno Motor Principal
	Sistema Esmeril
	Motor Principal
	Torres
	Banda Transporte Salida
MW 30 (Empacadora)	Banda Transporte de Lámina
	Sellador Base
	Sistema Plegadores
	Sistema Cuchilla Corte Lámina
	Banda Dentada Lanzador
	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930
PW 20 (Empacadora)	Sistema de Plegadores
	Alimentador de Rollos
	Sellador Base
	Sistema de Corte
	Banda Transporte Lámina
PW 30 (Empacadora)	Banda Transporte Lámina

4.2 MODELO DE ESTADO PARA LOS COMPONENTES

Para realizar el análisis de confiabilidad a la conformadora de rollos, es importante determinar el modelo de estado que mejor describe cada uno de sus componentes. El modelo más común para representar el estado de un componente es el de dos estados, en el cual el componente se encuentra en

servicio o fuera de servicio, este modelo tiene la característica de ser continuo en el tiempo y discreto entre los estados de servicio y fuera de servicio [17].

Figura 15 Modelo de dos estados para un componente



Este modelo se define mediante:

La función de densidad de probabilidad de los tiempos para salida f_{tf} .

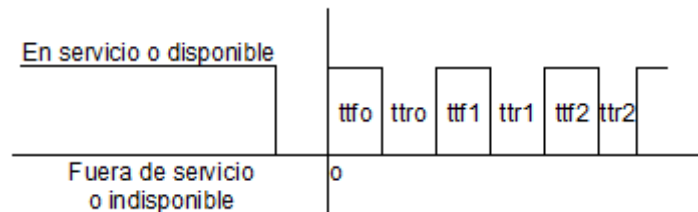
La función de densidad de probabilidad de los tiempos para reparación f_{tr} .

La función de distribución de probabilidad de los tiempos para salida F_{tf} .

La función de distribución de probabilidad de los tiempos para reparación F_{tr} .

A partir del modelo de dos estados, el comportamiento de cada componente se puede modelar de la siguiente forma:

Figura 16 Comportamiento de un componente en función de sus estados



Donde:

tffi: Tiempo para falla o tiempo de operación del componente.

ttri: Tiempo para reparación del componente.

Ya que los tiempos para falla tffi y para reparación ttri de un evento a otro no presentan la misma duración, se puede decir que su comportamiento es aleatorio, esto implica que, para el período de estudio T, el número de eventos N que se presenten sea también aleatorio.

4.3 EVENTOS DE SALIDA PARA UN COMPONENTE

Los eventos de salida para un componente se pueden clasificar como planeados y no planeados.

4.3.1 Eventos planeados

Los eventos planeados hacen referencia a todo lo que corresponde a las actividades de mantenimiento consignadas en el cronograma de labores y por esta razón, se conoce con toda certeza la fecha de intervención en el componente.

Entre los eventos planeados se encuentran:

- Mantenimiento preventivo.
- Paradas de oportunidad.
- Mantenimiento predictivo.
- Otras.

4.3.2 Eventos no planeados

Los eventos no planeados hacen referencia a todas las actividades de mantenimiento que se realicen en el componente y no se encuentran consignadas en el cronograma de labores o sean actividades a realizarse en alguna parada de oportunidad, no se tiene certeza del momento en el cual se presentan e implican una rápida respuesta del personal de mantenimiento para así restaurar el proceso.

Entre los eventos no planeados se encuentran:

- Mantenimiento correctivo.
- Parada Forzada.
- Mala operación por parte de los operarios.
- Daños debidos a Agentes externos.
- Otras.

4.4 COMPORTAMIENTO OPERATIVO PARA UN BLOQUE DE COMPONENTES

Describir claramente el comportamiento operativo de un bloque de componentes no es tan sencillo como la descripción del comportamiento de un solo componente del bloque, ya que en el bloque pueden presentarse fallas en varios de sus componentes a la vez, lo cual conlleva a diferentes tiempos para falla e implica que en el instante en que se encuentre un elemento en reparación se puede presentar falla en otro elemento del sistema, dándose el fenómeno de superposición de los tiempos de falla y reparación de cada componente, lo cual hace que si en algún momento se quisiera representar gráficamente el estado operativo del bloque, éste tendría una gran complejidad y sería difícil entender la información allí plasmada.

Por todo lo anterior, para un bloque de componentes se acostumbra representar gráficamente el estado operativo solamente a partir de los datos referentes a la falla.

4.5 INDICES DE CONFIABILIDAD

Son utilizados para determinar el desempeño de un sistema, bloque operativo o componente, entre ellos se tienen: MTBF, MTTF, tasa de falla, disponibilidad, etc. Para el cálculo de los índices de confiabilidad se ha utilizado el software configrupcomp.m el cual fue desarrollado en MATLAB® por el ingeniero Carlos Julio Zapata perteneciente al Programa de Tecnología Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

A continuación se describirán los índices a utilizar en el desarrollo del proyecto

Tabla 11 Tabla de Índices Confiabilidad [17]

MTBF	Tiempo medio entre fallas	$\frac{\sum_{i=1}^{N_f} tbf_i}{N_f}$	Contiene solamente las salidas no planeadas que involucran falla en el componente.
MTTF	Tiempo medio para fallas	$\frac{\sum_{i=1}^{N_f} ttf_i}{N_f}$	Contiene solamente las salidas no planeadas que involucran falla para el componente.
MTTR	Tiempo medio para reparación	$\frac{\sum_{i=1}^{N_f} ttr_i}{N_f} = r$	Contiene solamente las restauraciones de salidas no planeadas que involucran falla en el componente.
λ	Tasa de fallas	$\frac{N_f}{N * T - \sum_{i=1}^{N_f} ttr_i}$	Contiene todas las salidas no planeadas que involucran falla en el componente.
		$\frac{1}{r}$	Para el modelo exponencial
μ	Tasa de reparaciones	$\frac{N_f}{\sum_{i=1}^{N_f} ttr_i}$	Contiene las reparaciones de la falla propia del componente.
A_i	Disponibilidad inherente	$1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_f} ttr_i}{N * T}$	Contiene todas las salidas no planeadas que involucran falla en el componente.

U _i	Indisponibilidad inherente	$\frac{\sum_{i=1}^{N_f} ttr_i}{N * T} * 8760$ $\lambda * r$	Contiene todas las salidas no planeadas que involucran falla en el componente.
----------------	----------------------------	---	--

Nota: T, equivale al tiempo de estudio o período de los registros (años).
N, equivale al número de elementos.
N_f, equivale al número de fallas en el período. T

4.6 MODELOS DE CONFIABILIDAD PARA LOS COMPONENTES

Para determinar el modelo que mejor describe la naturaleza de los datos, se realiza un ajuste al histórico de mantenimiento para los datos de tiempos para salida ttfi y tiempos para reparación ttri del componente y así obtener su función de probabilidad (Normal, Lognormal, Exponencial, Gamma, Weibull, etc.).

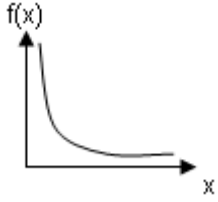
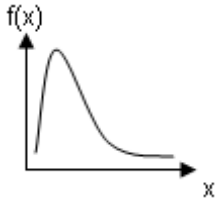
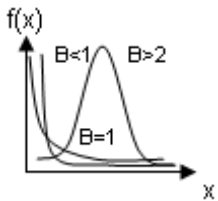
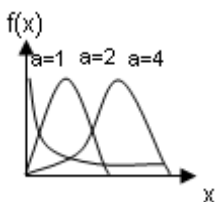
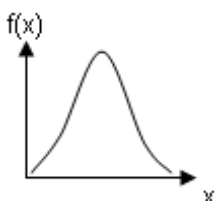
El procedimiento para hallar estas funciones es el siguiente:

1. Del histórico de mantenimiento, obtener los datos de tiempo para falla “tffi” y tiempo de reparación “ttri” para cada uno de los componentes.
2. Realizar un histograma de frecuencias para los tiempos para falla “tffi” y para los tiempos de reparación “ttri”, con el fin de identificar su comportamiento y con ello deducir cual(es) de las funciones matemáticas son las que mejor se ajustan a los datos.
3. Calcular los parámetros de las funciones propuestas para ajustar los datos. Se pueden utilizar los métodos de los momentos o de la máxima verosimilitud.
4. Con una prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov o Chi-cuadrado) determinar cual o cuales de las funciones propuestas se ajusta con un mayor nivel de confianza y por ende representa mejor los datos [17].

Para el ajuste de los datos a un modelo de confiabilidad se utilizará el software datafit.m, datafit1.m, datafit2.m, datafit3.m y datafit4.m, el cual fue desarrollado en MATLAB® por el ingeniero Carlos Julio Zapata perteneciente al Programa de Tecnología Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

En la siguiente tabla se presentan algunos de los modelos de confiabilidad con sus ecuaciones, gráficas y tasas de eventos.

Tabla 12 Tabla de Modelos de Confiabilidad

DISTRIBUCION	Ecuaciones	Gráfica	Tasa de eventos
EXPONENCIAL	$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}$ $E(x) = \mu$		Constante
LOGNORMAL	$f(x) = \frac{1}{x\rho\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\rho^2}}$ $E(x) = e^{\left(\mu + \frac{\rho^2}{2}\right)}$		Para $\rho \geq 1$ es decreciente para $\rho < 1$ es creciente
WEIBULL	$f(x) = \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta}$ $E(x) = \frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$		Para $\beta < 1$ es decreciente, para $\beta = 1$ es constante para $\beta > 1$ es creciente
GAMMA	$f(x) = \frac{1}{b^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{b}}$ $E(x) = \frac{\alpha}{\lambda}$		Para $\alpha < 1$ es decreciente, para $\alpha = 1$ es constante para $\alpha > 1$ es creciente
NORMAL	$f(x) = \frac{1}{\rho\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\rho^2}}$ $E(x) = \mu$		Creciente

5 IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODOS DE FALLOS Y DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

5.1 METODOLOGÍA PROPUESTA

5.1.1 Recolección de información

Para llevar a cabo el presente trabajo se utilizará la base de datos de la conformadora de rollos, la cual fue proporcionada por el grupo de mantenimiento de la empresa papelera, en ella se tiene un detallado reporte diario de todos los eventos que se presentan, además se tiene la información ordenada en forma cronológica y contiene las fechas en las cuales se presenta la falla en cada componente y su tiempo de reparación. Los datos facilitados corresponden al período del 1 de enero de 2007 al 30 de abril de 2008.

5.1.2 Conocimiento y depuración

Con la información de eventos de fallos para la conformadora de rollos identificada, se procedió a separar ésta, en función de los bloques operativos que la conforman. Posteriormente la información de cada bloque operativo se separó en función de sus componentes. Para ello, la conformadora se dividió en etapas operacionales asignándoles a ellas sus respectivos fallos. Una vez dividida y asignada la información se procedió a depurar la información de fallos,

5.1.3 Tratamiento de los datos

Teniendo los datos depurados se realizarán dos procesos: el primero será el cálculo de los índices de confiabilidad utilizando el software “configrupcomp.m” y el segundo será el cálculo de los modelos de confiabilidad utilizando el software “datafit.m, datafit1.m, datafit2.m, datafit3.m y datafit4.m”, ambos desarrollados en MATLAB® por el ingeniero Carlos Julio Zapata perteneciente al Programa de Tecnología Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

5.1.4 Obtención del modelo del sistema (serie, paralelo, mixto etc.)

De acuerdo a la característica operativa de la conformadora de rollos y con el apoyo del personal de mantenimiento de la empresa papelera, se definió el diagrama de bloques que describe el funcionamiento del sistema,

5.1.5 Análisis de modos de fallo

Para el desarrollo de este punto se tendrán en cuenta las metodologías expuestas en los numerales 3.1.3 y 3.2.5, por medio de las cuales se determinarán los elementos más críticos (FMEA) o los eventos potenciales (FTA) que puedan ocasionar un paro en el sistema.

5.1.6 Calculo de la confiabilidad

Empleando los diagramas de bloques, el Árbol de Falla y los resultados obtenidos en el numeral 5.1.3 se procederá a calcular la confiabilidad por diagramas de bloques apoyados en lo visto en el numeral 3.3 y la inconfiabilidad por FTA según se explica en el numeral 3.2.5.

6 RESULTADOS Y ANALISIS

6.1 CONOCIMIENTO Y DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para el estudio y depuración de la base de datos, inicialmente se seleccionaron los eventos que no aportaban de acuerdo al enfoque del estudio, queriendo decir esto que fueron consignados de manera no técnica o con un incorrecto criterio de fallo, se observó una cantidad considerable de datos cuya descripción era de "AJUSTE" y para efectos de análisis un ajuste no se considera como fallo. El otro grupo de datos que se consideraron como outliers para el presente trabajo, son los datos que estaban fuera del rango de tres veces la desviación estándar. En la siguiente tabla se presenta un resumen del número de datos antes y después de la depuración.

Tabla 13 Número de datos: iniciales, filtrados y útiles para el análisis

BLOQUE	ELEMENTO	Datos iniciales	Outliers tipo 1	Datos por elemento filtrados	Outliers tipo 2	Datos análisis	Total datos bloque
P E R F O R A D O R A	Acumulador	38	6	5	-	5	32
	Banda del jinetillo			9	-	9	
	Cuchilla descoladora			5	-	5	
	Rodajas			2	-	2	
	Sistema de moletas			6	-	6	
	Gofrador			3	-	3	
	Sistema de transferencia			2	-	2	
C O R T A D O R A	Sistema Cuchilla	80	4	12	-	12	74
	Freno Motor Principal			5	-	5	
	Sistema Esmeril			50	2	48	
	Motor Principal			2	-	2	
	Torres			4	-	4	
	Banda Transporte Salida			3	-	3	
O M E G A	Banda Alimentación Rollo	206	101	15	1	14	102
	Sistema de Pinzas			13	-	13	
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación			26	1	25	
	Sistema de Vacío			10	1	9	

3	Embutidores			6	-	6	
	Sistema Corte de Lámina			9	-	9	
	Sistema Succión Bandas de los Tacos			9	-	9	
	Sellador Base			8	-	8	
	Expulsor de Rollo			9	-	9	
M W 3 0	Banda Transporte de Lámina	38	5	13	-	13	33
	Sellador Base			6	-	6	
	Sistema Plegadores			3	-	3	
	Sistema Cuchilla Corte Lámina			4	-	4	
	Banda Dentada Lanzador			2	-	2	
	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930			5	-	5	
P W 2 0	Sistema de Plegadores	75	38	4	-	4	37
	Alimentador de Rollos			6	-	6	
	Sellador Base			9	-	9	
	Sistema de Corte			5	-	5	
	Banda Transporte Lámina			13	-	13	
P W 3 0	Banda Transporte Lámina	4	1	3	-	3	3
TOTALES		441	155	286	5	281	281

En la base de datos de la empresa papelera después del conocimiento y análisis de la misma se determinó que en ella se presentaban outliers del tipo 1.

- La base de datos inicial se depuró por bloque operativo y se le extrajeron los outliers tipo 1 (maniobras para ajuste del proceso sobre la marcha o datos erróneos).
- A la base de datos ya filtrada, se procedió a separarle la información de cada bloque operativo en sus diferentes componentes y a éstos se les hizo un segundo filtrado, utilizando el software datafit.m con el cual se extrajeron los outliers tipo 2.

6.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Con la información depurada de acuerdo a los criterios descritos en el numeral anterior, se muestran las tablas de los distintos modelos de distribución y los datos estadísticos para el tiempo de estudio.

Tabla 14 Modelos y coeficientes para la fdp de cada componente

	ELEMENTO	Modelo fdp para falla ideal	Modelo fdp para falla utilizado		
PERFORADORA	Acumulador	Normal	Exponencial		
		μ	16,8333	μ	16,8333
		σ	15,5488		
	Banda del jinetillo	Gamma	Exponencial		
		a	0,9932	μ	13,3333
		b	13,4250		
	Cuchilla descoladora	Gamma	Exponencial		
		a	0,6740	μ	18,3333
		b	27,2000		
	Rodajas	Normal	Exponencial		
		μ	21,0000	μ	21,0000
		σ	23,2594		
	Sistema de moletas	Gamma	Exponencial		
		a	0,6334	μ	26,5714
b		41,9480			
Gofrador	Normal	Exponencial			
	μ	21,5000	μ	21,5000	
	σ	25,6320			
Sistema de transferencia	Gamma	Exponencial			
	a	0,3858	μ	21,0000	
	b	54,4286			
CORTADORA	Sistema Cuchilla	Normal	Exponencial		
		μ	30,8333	μ	30,8333
		σ	24,6607		
	Freno Motor Principal	Exponencial	Exponencial		
		μ	22,5000	μ	22,5000
	Sistema Esmeril	Gamma	Exponencial		
		a	0,9748	μ	1,3388
		b	6,8604		
	Motor Principal	Normal	Exponencial		
		μ	53,5000	μ	53,5000
		σ	75,6604		
	Torres	Normal	Exponencial		
μ		58,8000	μ	58,8000	
σ		50,5539			
Banda Transporte Salida	Gamma	Exponencial			
	a	0,3003	μ	22,5000	
	b	74,9185			
OMEGA 3	Banda Alimentación Rollo	Lognormal	Exponencial		
		μ	2,1690	μ	16,3125
		σ	1,1162		
	Sistema de Pinzas	Weibull	Exponencial		
		a	18,5366	μ	21,0000
		b	0,8001		
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	Lognormal	Exponencial		
		μ	1,2528	μ	6,1923
		σ	1,0682		
	Sistema de Vacío	Exponencial	Exponencial		
		μ	2,3000	μ	2,3000
	Embutidores	Normal	Exponencial		
μ		48,0000	μ	48,0000	
σ		59,5791			
Sistema Corte de Lámina	Gamma	Exponencial			
	μ	0,9597	μ	40,2222	
	σ	41,9095			
Sistema Succión Bandas de los Tacos	Gamma	Exponencial			
	a	0,4891	μ	14,7000	
	b	30,0537			

	Sellador Base	Gamma		Exponencial	
		a	0,4763	μ	36,7500
	b	52,1428			
	Expulsor de Rollo	Lognormal		Exponencial	
μ		2,5745	μ	28,2222	
σ		1,2375			
MW 30	Banda Transporte de Lámina	Exponencial		Exponencial	
		μ	3,0000	μ	3,0000
	Sellador Base	Gamma		Exponencial	
		μ	0,5143	μ	20,7143
		σ	40,2736		
	Sistema Plegadores	Normal		Exponencial	
		μ	30,3333	μ	30,3333
		σ	49,9433		
	Sistema Cuchilla Corte Lámina	Gamma		Exponencial	
		a	0,4059	μ	21,0000
	b	51,7381			
	Banda Dentada Lanzador	Normal		Exponencial	
μ		1,6667	μ	1,6667	
σ		2,0817			
Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	Weibull		Exponencial		
	a	3,1524	μ	3,6667	
	b	0,7723			
PW 20	Sistema de Plegadores	Normal		Exponencial	
		a	47,2500	μ	47,2500
	b	57,3897			
	Alimentador de Rollos	Lognormal		Exponencial	
		a	2,2020	μ	12,8333
	b	0,8367			
	Sellador Base	Gamma		Exponencial	
		a	0,4967	μ	14,7778
	b	29,7538			
	Sistema de Corte	Gamma		Exponencial	
		a	0,7238	μ	43,4000
	b	59,9608			
Banda Transporte Lámina	Lognormal		Exponencial		
	μ	2,3540	μ	15,6923	
	σ	0,8935			
PW 30	Banda Transporte Lámina	Lognormal		Exponencial	
		μ	-0,0182	μ	1,5000
		σ	0,9205		

Para el análisis de confiabilidad se puede utilizar cualquier tipo de función de distribución de probabilidad, pero en la práctica las más usadas son las funciones monótonicas, ya que estas son las que mejor se acomodan para los análisis de confiabilidad, pero de todas la función de distribución más utilizada es la exponencial, por que presenta una gran facilidad en su manipulación matemática y para el intervalo de análisis representa bien la vida útil del elemento, para determinar si la función exponencial puede ser utilizada se debe tener en cuenta:

- Los datos se deben ajustar a una distribución exponencial.
- Se considera que el componente está en su periodo de vida útil.
- La indisponibilidad anual del componente es menor al 10%.

Y ya que para el análisis se dan las anteriores condiciones no se trabajara con las distribuciones de probabilidad ideales sino que se trabajara solo con la función de distribución exponencial.

Para el cálculo de las estadísticas se usó el programa Configrup.m, el cual utiliza las expresiones matemáticas del numeral 4.5 arrojando los siguientes resultados:

Tabla 15 Estadísticas de tiempos medios por componente

		MTTR "tiempo promedio para reparación" [horas]	MTBF "tiempo promedio entre fallos" [días]	MTTF "tiempo promedio para fallo"	
				[años]	[días]
PERFORADORA	Acumulador	1,1690	57,5843	0,9368	341,932
	Banda del jinetillo	0,5517	42,1344	0,9702	354,123
	Cuchilla descoladora	2,3687	47,3299	0,7778	283,897
	Rodajas	0,4000	97,0703	0,9300	339,45
	Sistema de moletas	2,3687	47,3299	0,7778	283,897
	Gofrador	3,0367	86,7299	1,0225	373,2125
	Sistema de transferencia	0,6292	98,0955	0,9296	339,304
CORTADORA	Sistema Cuchilla	1,2750	29,9707	0,5559	202,9035
	Freno Motor Principal	1,0381	63,0546	0,9896	361,204
	Sistema Esmeril	0,7405	8,5613	0,6787	247,7255
	Motor Principal	3,3111	47,1389	0,1919	70,0435
	Torres	1,5028	58,7720	0,4285	156,4025
	Banda Transporte Salida	0,8733	25,9343	0,1634	59,641
OMEGA 3	Banda Alimentación Rollo	4,0179	6,3872	0,4337	158,3005
	Sistema de Pinzas	2,9273	17,3758	0,5368	195,932
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	4,2613	9,3351	0,2827	103,1855
	Sistema de Vacío	6,1333	12,7917	0,1022	37,303
	Embutidores	3,2146	89,6649	0,4784	174,616
	Sistema Corte de Lámina	6,0958	23,9818	0,2828	103,222
	Sistema Succión Bandas de los Tacos	5,1697	16,3338	0,3084	112,566
	Sellador Base	5,8405	22,0538	0,3239	118,2235
MW30	Expulsor de Rollo	2,8861	30,8779	0,5090	185,785
	Banda Transporte de Lámina	3,9702	6,6310	0,1978	72,197
	Sellador Base	1,6771	24,8442	0,3110	113,515
	Sistema Plegadores	3,6433	34,0438	0,2699	98,5135
	Sistema Cuchilla Corte Lámina	3,7361	32,7633	0,3806	138,919
	Banda Dentada Lanzador	5,8167	49,1450	0,5287	192,9755
PW 20	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	3,9857	11,3884	0,1893	69,0945
	Sistema de Plegadores	1,8537	28,7921	0,2904	105,996
	Alimentador de Rollos	4,9782	11,2965	0,3081	112,4565
	Sellador Base	2,4409	22,7588	0,5281	192,7565
	Sistema de Corte	2,4931	24,8611	0,3776	137,824
PW 30	Banda Transporte Lámina	3,6067	7,3925	0,3893	142,0945
	Banda Transporte Lámina	2,1533	24,0882	0,3201	116,8365

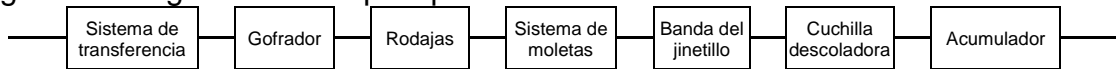
Tabla 16 Estadísticas de tasas por componente

		λ_i tasa de fallas [horas]	μ_i tasa de reparación [horas]	A_i tasa de disponibilidad [%]	U_i tasa de indisponibilidad [horas/año]
PERFORADORA	Acumulador	2501,7135	0,8554	99,9533	4,0917
	Banda del jinetillo	1751,4395	1,8127	99,9685	2,7583
	Cuchilla descoladora	2187,6483	0,4222	99,8918	9,4750
	Rodajas	4379,5620	2,5000	99,9909	0,8000
	Sistema de moletas	2187,6483	0,4222	99,8918	9,4750
	Gofrador	3500,9192	0,3293	99,9133	7,5917
	Sistema de transferencia	4379,3431	1,5894	99,9856	1,2583
CORTADORA	Sistema Cuchilla	1250,1606	0,7843	99,8981	8,9250
	Freno Motor Principal	2501,7849	0,9633	99,9585	3,6333
	Sistema Esmeril	342,7887	1,3503	99,7844	18,8833
	Motor Principal	5836,4981	0,3020	99,9433	4,9667
	Torres	2918,5407	0,6654	99,9485	4,5083
	Banda Transporte Salida	3503,1592	1,1451	99,9751	2,1833
OMEGA 3	Banda Alimentación Rollo	212,2782	0,2489	98,1424	162,7250
	Sistema de Pinzas	527,9812	0,3416	99,4486	48,3000
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	621,4529	0,2347	99,3190	59,6583
	Sistema de Vacío	1453,8695	0,1630	99,5799	36,8000
	Embutidores	2186,7745	0,3111	99,8532	12,8583
	Sistema Corte de Lámina	1088,9021	0,1640	99,4433	48,7667
	Sistema Succión Bandas de los Tacos	1587,5605	0,1934	99,6754	28,4333
	Sellador Base	1245,5921	0,1712	99,5333	40,8833
MW30	Expulsor de Rollo	1457,1101	0,3465	99,8023	17,3167
	Banda Transporte de Lámina	1247,4545	0,2519	99,6827	27,7917
	Sellador Base	2188,3041	0,5963	99,9234	6,7083
	Sistema Plegadores	3500,3596	0,2745	99,8960	9,1083
	Sistema Cuchilla Corte Lámina	2916,3060	0,2677	99,8721	11,2083
	Banda Dentada Lanzador	4374,0950	0,1719	99,8672	11,6333
	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	2498,8590	0,2509	99,8408	13,9500
PW 20	Sistema de Plegadores	1944,8083	0,5395	99,9048	8,3417
	Alimentador de Rollos	1342,7139	0,2009	99,6306	32,3583
	Sellador Base	1590,2985	0,4097	99,8467	13,4250
	Sistema de Corte	1457,4980	0,4011	99,8292	14,9583
	Banda Transporte Lámina	496,9649	0,2773	99,2795	63,1167
PW 30	Banda Transporte Lámina	3501,8989	0,4644	99,9385	5,3833

6.3 MODELO DE CONFIABILIDAD DE LA MÁQUINA

6.3.1 Perforadora

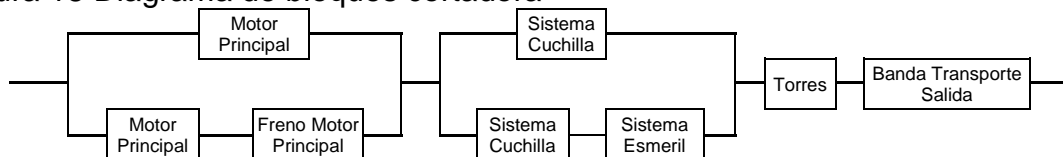
Figura 17 Diagrama de bloques perforadora



- Sistema de transferencia: Es el momento entre el final de un rollo y el inicio del siguiente.
- Gofrador: Es un rodillo, normalmente de caucho, su función es la de hacer grabados en el papel, estos grabados dependen de la disposición de mercadeo.
- Rodajas: Sistema encargado de hacer el pegado de las hojas que previamente han sido gofradas.
- Sistema de moletas: Láminas metálicas cuya función es la de servir de apoyo a las rodajas en el pegado de las hojas gofradas.
- Banda del jinetillo: Encargada de dar movimiento al rodillo prensor o jinetillo, normalmente su material es lona.
- Cuchilla descoladora: Su función es la de dar corte al extremo del rollo, para así pegar el rollo.
- Acumulador: Conjunto de amarras metálicas donde se almacena el rollo después de su proceso final.

6.3.2 Cortadora

Figura 18 Diagrama de bloques cortadora



- Motor principal: Su función es darle movimiento a todo el sistema, se trata de un motor marca MGM de 4.2 HP.
- Freno motor principal: Su función, aminorar la velocidad de giro cuando hay presencia de trancón de rollos.
- Sistema Cuchilla: Encargadas directamente del corte para producción, son cuchillas circulares en acero inoxidable.

- Sistema Esmeril: Conjunto de piedras afiladoras, generalmente hechas de materiales abrasivos cuya función principal es la de darle afilado a la cuchilla.
- Torres: Elemento encargado de suministrar a la banda de transporte de salida la cantidad de producto terminado. Su material es aluminio.
- Banda transporte salida: Encargada de llevar el rollo a la salida, en esencia su función es de transporte.

6.3.3 Omega 3

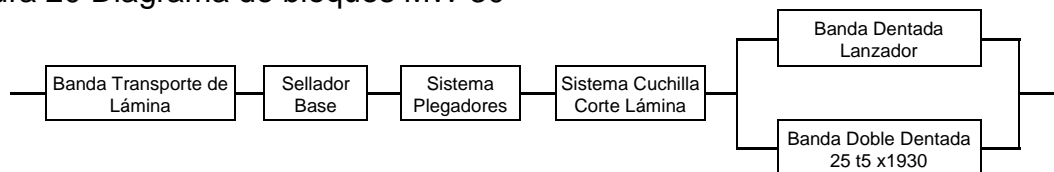
Figura 19 Diagrama de bloques omega 3



- Banda alimentación rollo: Sistema encargado de regular la alimentación del rollo a la máquina.
- Sistema corte de lámina: Regulado de acuerdo a la especificación de producción para hacer el corte al producto semiacabado.
- Sistema succión bandas de los tacos: Sistema que transporta la lámina después de ser usada.
- Seguidor de leva y tornillo graduación: Sistema encargado de regular la pinza que agarra el rollo.
- Sistema de pinza: Su función es fijar los dos extremos del rollo.
- Sellador base: Dispositivo encargado de sellar la lámina usando calor.
- Expulsor de rollo: Encargado de sacar el producto a la banda transportadora.
- Embutidores: Su función, introducir la lámina entre los extremos del tubo o core.

6.3.4 MW 30

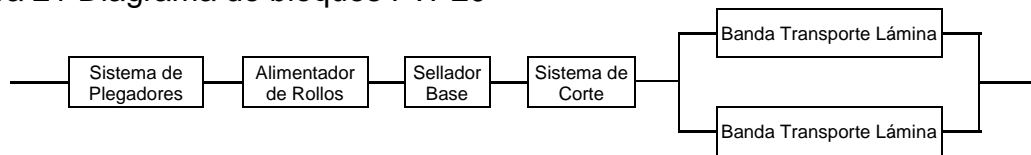
Figura 20 Diagrama de bloques MW 30



- Banda transporte de lámina: Su función es la de transportar la envoltura ya cortada, generalmente para esta aplicación el material es de lona, debido a que su paso debe ser suave.
- Sellador base: Elemento encargado de brindar sellado con calor a la lámina de polietileno en la parte inferior del paquete.
- Sistema plegadores: Su función es doblar la lámina en la parte lateral e inferior.
- Sistema cuchilla corte lámina: formado por un conjunto de cuchillas rectas que cortan la lámina para ser suministrada a la máquina.
- Banda dentada lanzador: Banda de ubicación lateral. Esta banda permite el movimiento del sistema de plegado permitiendo el movimiento de la lámina.
- Banda doble dentada 25 t5 x 1930: Banda de ubicación lateral. Esta banda permite el movimiento del sistema de plegado permitiendo el movimiento de la lámina hasta la etapa de salida.

6.3.5 PW 20

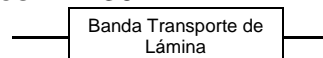
Figura 21 Diagrama de bloques PW 20



- Sistema de plegadores: Su función, doblar la lámina lateralmente e inferiormente.
- Alimentador de rollos: Encargado de seleccionar la cantidad de rollos a empacar dependiendo de la disposición de producción.
- Sellador base: Elemento encargado de brindar sellado con calor a la lámina de polietileno en la parte inferior del paquete.
- Sistema de corte: Formado por un conjunto de cuchillas rectas que cortan la lámina para ser suministrada a la máquina.
- Banda transporte lámina: Su función es la de transportar la envoltura ya cortada, generalmente para esta aplicación el material es de lona, debido a que su paso debe ser suave.

6.3.6 PW 30

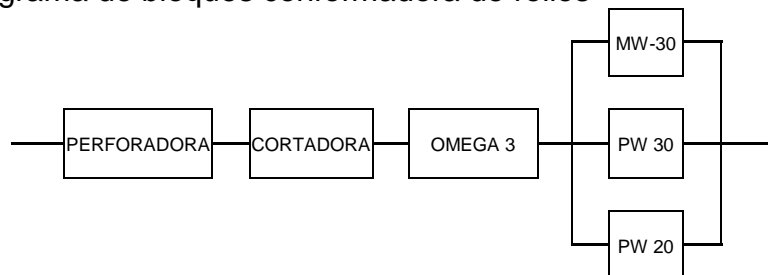
Figura 22 Diagrama de bloques PW 30



- Banda transporte de lámina: Su función es la de transportar la envoltura ya cortada, generalmente para esta aplicación el material es de lona, debido a que su paso debe ser suave.

6.3.7 Diagrama de la conformadora de rollos

Figura 23 Diagrama de bloques conformadora de rollos



- PERFORADORA: Encargada de generar el gofrado sobre la lamina de papel, unir el numero de lamina, generar la línea de corte del rollo de papel y envolver la lámina sobre el core.
- CORTADORA: Encargada de cortar el rollo de modo que éste quede con el tamaño adecuado según la necesidad.
- OMEGA 3: Encargada de envolver cada rollo (en papel o en polietileno) según la presentación requerida.
- MW 30: Encargada de embalar el producto terminado.
- PW 30: Encargada de embalar el producto terminado.
- PW 20: Encargada de embalar el producto terminado.

6.4 IDENTIFICACION DE LOS ELEMENTOS CRITICOS CON FMEA

Para identificar los elementos críticos se requiere de un amplio conocimiento del sistema bajo estudio ya que es necesario definir los parámetros de Severidad (S) y Detección (D). Teniendo en cuenta lo anterior, se recurrió a la experiencia de los supervisores y personal operario de la empresa papelera. El parámetro de Ocurrencia (O) lo define la tasa de fallos del elemento según la tabla 17.

Tabla 17 Tabla de índice de ocurrencia utilizado

Índice de Ocurrencia	Tasa de fallas [horas]
1	44075
1,2	35473
1,4	28550
1,6	22978
1,8	18494
2	14884
2,2	11979
2,4	9641
2,6	7760
2,8	6245
3	5026
3,2	4045
3,4	3256
3,6	2620
3,8	2109
4	1697
4,2	1366
4,4	1100
4,6	885
4,8	712
5	573
5,2	461
5,4	371
5,6	299
5,8	241
6	194
6,2	156
6,4	125
6,6	101
6,8	81
7	65
7,2	53
7,4	42
7,6	34
7,8	27
8	22
8,2	18
8,4	14
8,6	12
8,8	9
9	7
9,2	6
9,4	5
9,6	4
9,8	3
10	1

Tabla 18 Formato FMEA y calculo RPN

Sistema <u>Conformadora de Rollos</u>										FMEA Numero _____ Elaborado _____ por _____ FMEA Fecha _____ Fecha rev. _____ Pagina _____					
Subsistema _____										MODOS DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS POTENCIALES					
Componentes _____															
Diseñador _____															
Equipo análisis _____															
Acciones iniciales										Resultados de las acciones					
B L O Q U E	Parte/ Función	Modo Potencial de Falla	Efecto Potencial de Falla	Sev	Causa Potencial	Ocu	Det	RPN	Acción recomendada	Acción Toma da	Nueva Sev	Nueva Ocu	Nueva Det	Nuevo RPN	
	P E R F O R A D O R A	Acumulador	Fallo por trancón de rollos en carga y descarga de logs (tubo)	Paro parcial de la máquina	3	Exceso de rollos en banda transportadora implicando trancón y cese momentáneo de actividades	3,8	1	11,4	Control en la distancia del log al alimentador					
		Banda del jinetillo	Fallo de tensión y desgaste en la banda	Paro de máquina	2	Mal ajuste por parte del operario, desgaste natural de la banda	4	1	8	Periodicidad en mantenimiento					
		Cuchilla descoladora	Fallo en la cuchilla	Paro de máquina	2	Problemas de sobretensión, desgaste natural, fatiga	3,8	1	7,6	Periodicidad en mantenimiento					
		Rodajas	Fallo por problemas de presentación de rollo	Paro parcial de máquina	5	Desgaste de rodajas por quiebre de pieza	3,2	5	80	Cambio de rodajas, aumento en stock					
		Sistema de moletas	Fallo por problemas de presentación de rollo	Paro parcial de máquina	6	Mal enganche del producto	3,8	5	114	Periodicidad en mantenimiento, mayor seguimiento al funcionamiento					

	Gofrador	Fallo en la banda de transmisión principal	Paro de máquina	7	Mal ajuste por parte del operario, desgaste natural de la banda	3,4	7	166,6	Controlar presión del rodillo gofrador					
	Sistema de transferencia	Fallo sistema introducción de tubo	Mala transferencia	4	Taponamientos en eje adaptador	3,2	5	64	Mantenimiento en cilindro					
C O R T A D O R A	Sistema Cuchilla	Exceso de goma en el tubo	Mala presentación en el corte del rollo	1	Mala calidad en el pegante, abertura de las boquillas	4,4	1	4,4	Rutinas de limpieza					
	Freno Motor Principal	Mala calibración	Mal funcionamiento	8	Calibración de velocidad	3,8	5	152	Rutinas de limpieza					
	Sistema Esmeril	Desgaste en las piedras.	Mal ángulo de afilado.	1	Mal ubicación, calidad de fabricación	5,6	1	5,6	Calibración piedras					
	Motor Principal	Desgaste en escobillas	Paro total	8	Contacto excesivo con el bobinado	3	1	24	Calibración, limpieza interna					
	Torres	Fallo en caja espaciadora	Rollos cortos y largos, daño en cuchilla de corte, daño en torres, daño esmeriles	2	Falta de lubricación, desgaste en piñones	3,6	1	7,2	Ajuste sistema transmisión					
	Banda Transporte Salida	Caída de los rollos desde el acumular a la cortadora	Paro de la cortadora	4	Mala posición del log, trancón en descarga	3,4	1	13,6	Ajuste de tiempo caída					
O M E G A 3	Banda Alimentación Rollo	Problemas de envoltura y lámina	Paro de máquina	5	Mala presentación de lote de fábrica	6	1	30	Control de tiempos en sistema de cuchilla, mejor estado de cuchilla de corte					
	Sistema de Pinzas	Trancón de rollos	Paro de máquina	5	Exceso de material para producto acabado	5,2	3	78	Ampliar stock					

	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	Trancón de rollos	Paro de máquina	de 3	Exceso de material para acabado	5	3	45	Ajuste sistema articulaciones					
	Sistema de Vacío	Daño de motor de la bomba	Paro de máquina	de 6	Mala ubicación al caerle materiales corrosivos, sobretensiones implicando fallo	4,2	3	75,6	Mantenimiento, limpieza periódica					
	Embutidores	Calibración	Mala presentación de rollo	3	Mala calibración entre el embutidor y el core	3,8	3	34,2	Correcta calibración embutidor					
	Sistema de Corte Lámina	Daño en la cuchilla	Paro de máquina	de 3	Problemas de sobretensión, desgaste natural, fatiga	4,6	5	69	Mantenimiento periódico al cilindro, seguimiento					
	Sistema de Sución de Bandas de los Tacos	Trancón de rollos	Paro de máquina	de 5	Exceso de material para acabado	4,2	3	63	Montaje y seguimiento a la calibración					
	Sellador Base	Problemas de diámetro de rolo	Paro de máquina	de 3	Sensor de rebobinado	4,4	1	13,2	Ajuste de tiempo del sistema de limpieza					
	Expulsor de Rollo	Calibración de plegadores	Paro de máquina	de 7	Calibración mecánico de turno	4,2	1	29,4	Ajuste sistema de articulación					
M W 3 0	Banda Transporte de Lámina	Mala calidad de lámina	Mala presentación en el corte del paquete	4	Problemas de corte, problemas de fabrica	4,4	3	52,8	Mantenimiento sistema corte de lámina					
	Sellador Base	Problemas de corte en el rolo	Paro de máquina	de 3	Mal afilado de la cuchilla	3,8	1	11,4	Ajuste y limpieza					
	Sistema Plegadores	Mal ajuste	Paro de máquina	de 7	Exceso en el diámetro del rolo o deficiencia en el diámetro del rolo	3,4	5	119	Ajuste y limpieza					
	Sistema Cuchilla Corte Lámina	Daño en la cuchilla	Paro de máquina	de 4	Problemas de sobretensión, desgaste natural, fatiga	3,6	1	14,4	Cambio cuchilla y mejor ajuste					

	Banda Dentada Lanzador	Problemas de tensión	Paro máquina de	3	Mala tensión por parte de operarios	3,2	1	9,6	Mantenimiento sistema transmisión					
	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	Desgaste de la banda	Paro máquina de	6	Uso excesivo en la operación	3,8	1	22,8	Cuadre de poleas, rutinas seguidas de limpieza					
P W 2 0	Sistema de Plegadores	Trancón de rollos	Mala presentación del paquete, mal sellado, paro de máquina	3	Exceso de material para producto acabado	4	3	36	Montaje y seguimiento a la calibración					
	Alimentador de Rollos	Problemas de tiempo barra alimentador	Mala presentación de rollo, mal sellado, mala presentación, trancones permanentes	2	Trancón de rollos y mal ajuste en el ciclo de alimentación	4,4	3	26,4	Ajuste sensor de paso					
	Sellador Base	Problemas de diámetro de rolo	Paro máquina de	5	Mala calibración brazos envolventes	4,2	1	21	Ajuste al servomotor que regula el movimiento					
	Sistema de Corte	Mala calibración	Paro máquina de	2	Mal afilado de los esmeriles, mal del operación operario	4,2	1	8,4	Capacitación control de velocidad					
	Banda Transporte Lámina	Mayor calibre de la lámina	paro máquina de	7	Problemas fabricante de	5,2	1	36,4	Devolución al fabricante					
P W 3 0	Banda Transporte Lámina	Problemas de estática	Paro máquina de	7	Calibración en sistemas de torres	3,4	1	23,8	Rutinas seguidas de mantenimiento					

Tabla 19 Numeración de los elementos y ranking de RPN

BLOQUE	No. Elemento	ELEMENTO	No. Elemento	RPN ordenado de mayor a menor (Ranking)
PERFORADORA	1	Acumulador	6	166,6
	2	Banda del jinetillo	9	152
	3	Cuchilla descoladora	25	119
	4	Rodajas	5	114
	5	Sistema de moletas	4	80
	6	Gofrador	15	78
	7	Sistema de transferencia	17	75,6
CORTADORA	8	Sistema Cuchilla	19	69
	9	Freno Motor Principal	7	64
	10	Sistema Esmeril	20	63
	11	Motor Principal	23	52,8
	12	Torres	16	45
	13	Banda Transporte Salida	33	36,4
OMEGA 3	14	Banda Alimentación Rollo	29	36
	15	Sistema de Pinzas	18	34,2
	16	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	14	30
	17	Sistema de Vacío	22	29,4
	18	Embutidores	30	26,4
	19	Sistema Corte de Lámina	11	24
	20	Sistema Succión Bandas de los Tacos	34	23,8
	21	Sellador Base	28	22,8
	22	Expulsor de Rollo	31	21
MW 30	23	Banda Transporte de Lámina	26	14,4
	24	Sellador Base	13	13,6
	25	Sistema Plegadores	21	13,2
	26	Sistema Cuchilla Corte Lámina	1	11,4
	27	Banda Dentada Lanzador	24	11,4
	28	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	27	9,6
PW 20	29	Sistema de Plegadores	32	8,4
	30	Alimentador de Rollos	2	8
	31	Sellador Base	3	7,6
	32	Sistema de Corte	12	7,2
	33	Banda Transporte Lámina	10	5,6
PW 30	34	Banda Transporte Lámina	8	4,4

En la tabla anterior se puede apreciar que los elementos más críticos para el sistema son los números 6, 9, 25 y 5, que corresponden al Gofrador, Freno motor principal, Sistema plegadores y Sistema de moletas respectivamente ya que éstos presentan el mayor RPN y teniendo en cuenta la metodología del FMEA, éstos son los elementos a los que se les debe prestar mayor atención pues son elementos potencialmente frágiles en lo que respecta a la confiabilidad del sistema, además se deben diseñar estrategias que permitan reducir sus índices de ocurrencia y detección con el objetivo de hacerlos más robustos y así mejorar la operabilidad del sistema total.

6.5 CONFIABILIDAD POR DIAGRAMAS DE BLOQUE

Para el cálculo de la confiabilidad por diagramas de bloque se utilizarán las ecuaciones descritas en los numerales 3.3.1 y 3.3.2, las cuales se aplicarán a los diagramas de bloques descritos en el numeral 6.3 y manipulando las funciones de distribución de probabilidad descritas en el numeral 6.2 con lo descrito en el numeral 1.2.1 se podrán obtener las funciones de confiabilidad de cada elemento y así calcular la confiabilidad por: elemento, bloque operativo y sistema total para cualquier tiempo t .

Tabla 20 Confiabilidad para la conformadora de rollos para un año

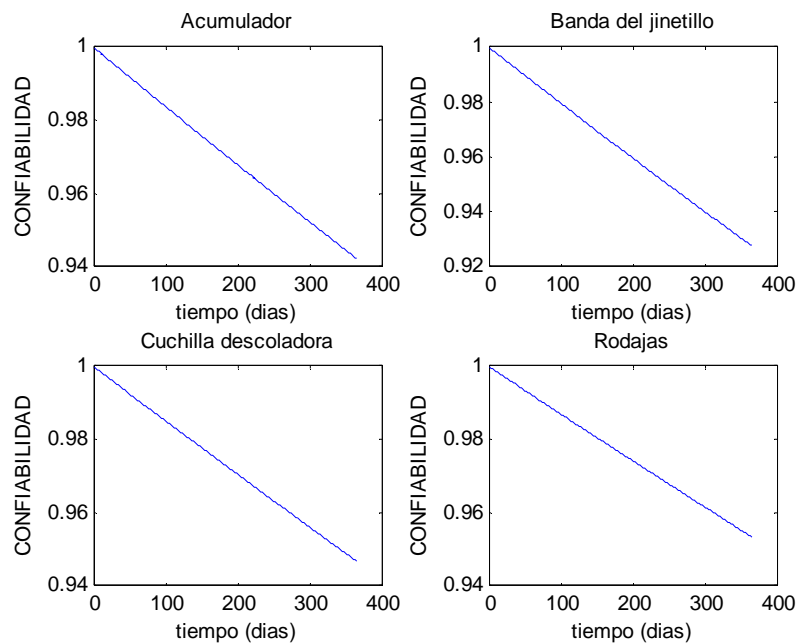
BLOQUE	ELEMENTO	Confiabilidad Individual	Inconfiabilidad Individual	Confiabilidad Individual (%)	Confiabilidad por bloque	
		$R(t)=1-Q(t)$	$Q(t)$	$R(t)=1-Q(t)$		
P E R F O R A D O R A	Acumulador	0,9423	0,0577	94,23	0,6919	69,19%
	Banda del jineteillo	0,9277	0,0723	92,77		
	Cuchilla descoladora	0,9469	0,0531	94,69		
	Rodajas	0,9535	0,0465	95,35		
	Sistema de moletas	0,9631	0,0369	96,31		
	Gofrador	0,9546	0,0454	95,46		
	Sistema de transferencia	0,9535	0,0465	95,35		
C O R T A D O R A	Sistema Cuchilla	0,9681	0,0319	96,81	0,9231	92,31%
	Freno Motor Principal	0,9565	0,0435	95,65		
	Sistema Esmeril	0,4738	0,5262	47,38		
	Motor Principal	0,9815	0,0185	98,15		
	Torres	0,9831	0,0169	98,31		
	Banda Transporte Salida	0,9565	0,0435	95,65		
O M E G A 3	Banda Alimentación Rollo	0,9405	0,0595	94,05	0,4229	42,29%
	Sistema de Pinzas	0,9535	0,0465	95,35		
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	0,8509	0,1491	85,09		
	Sistema de Vacío	0,6474	0,3526	64,74		
	Embutidores	0,9794	0,0206	97,94		
	Sistema Corte de Lámina	0,9754	0,0246	97,54		
	Sistema Succión Bandas de los Tacos	0,9342	0,0658	93,42		
	Sellador Base	0,9732	0,0268	97,32		
	Expulsor de Rollo	0,9652	0,0348	96,52		
M W 3 0	Banda Transporte de Lámina	0,7165	0,2835	71,65	0,5621	56,21%
	Sellador Base	0,9529	0,0471	95,29		
	Sistema Plegadores	0,9676	0,0324	96,76		
	Sistema Cuchilla Corte Lámina	0,9535	0,0465	95,35		

	Banda Dentada Lanzador	0,5488	0,4512	54,88		
	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	0,7613	0,2387	76,13		
P W 2 0	Sistema de Plegadores	0,9791	0,0209	97,91	0,8240	82,40%
	Alimentador de Rollos	0,9250	0,0750	92,50		
	Sellador Base	0,9346	0,0654	93,46		
	Sistema de Corte	0,9772	0,0228	97,72		
	Banda Transporte Lámina	0,9383	0,0617	93,83		
P W 3 0	Banda Transporte Lámina	0,5134	0,4866	51,34	0,5134	51,34%
Confiabilidad de la conformadora de rollos				0,2599	25,99%	

A continuación se mostrarán las gráficas de confiabilidad para: cada elemento, cada bloque operativo y la conformadora de rollos para un período de un año.

- Perforadora

Figura 24 Gráficos confiabilidad por elemento de la perforadora



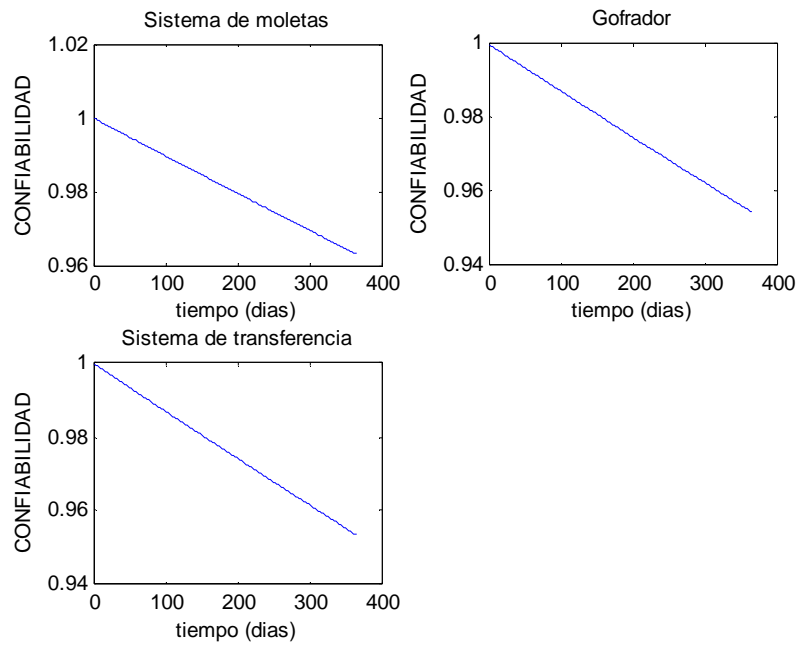
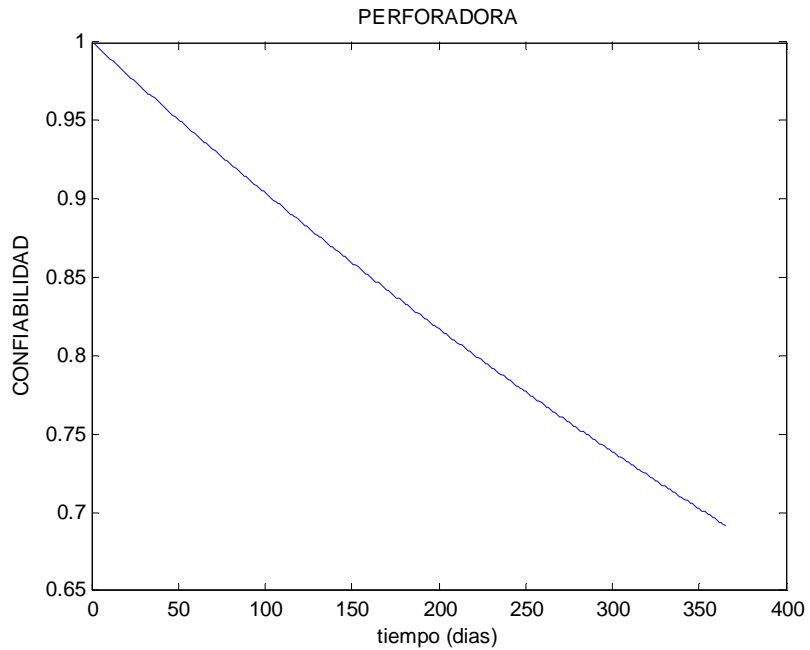


Figura 25 Gráfico confiabilidad perforadora



- Cortadora

Figura 26 Gráficos confiabilidad por elemento de la cortadora

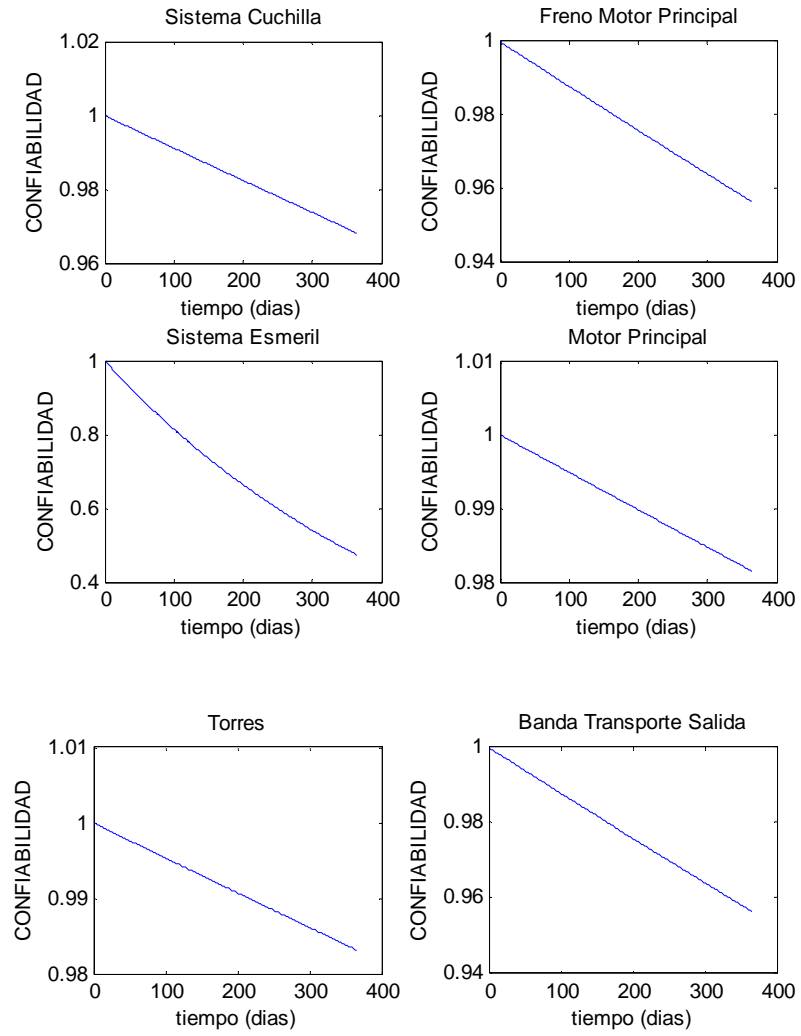
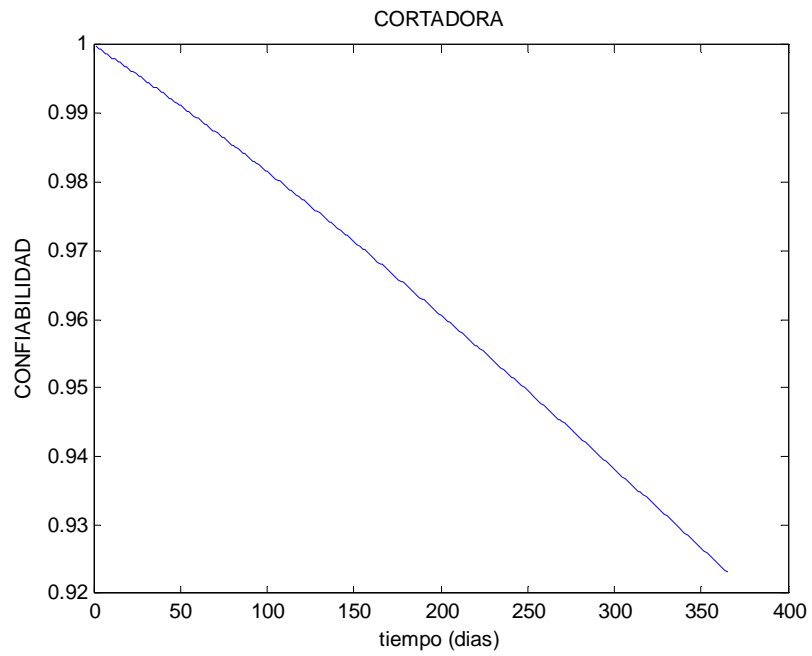
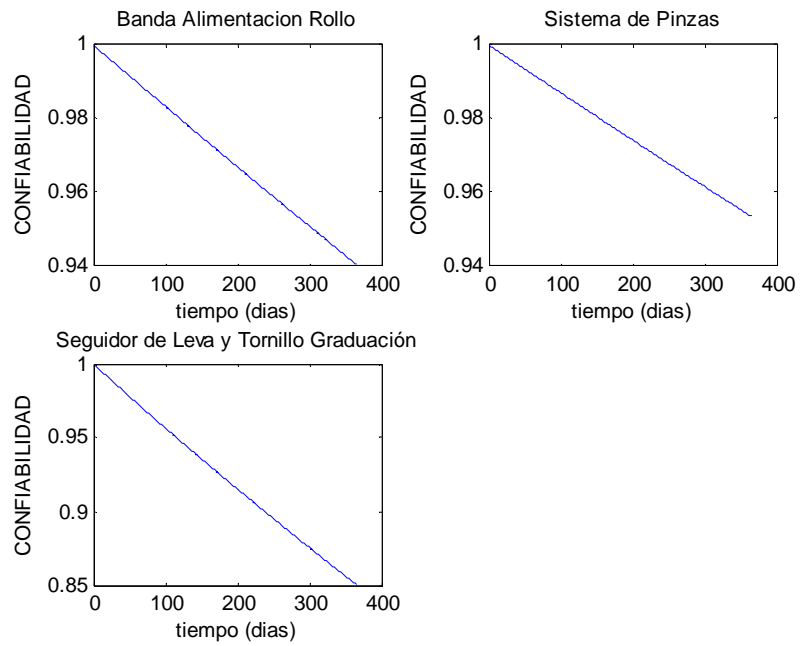


Figura 27 Gráfico confiabilidad cortadora



- Omega 3

Figura 28 Gráficos confiabilidad por elemento en la omega 3



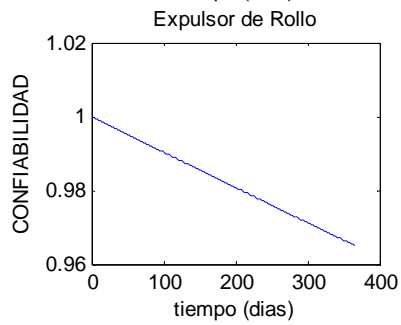
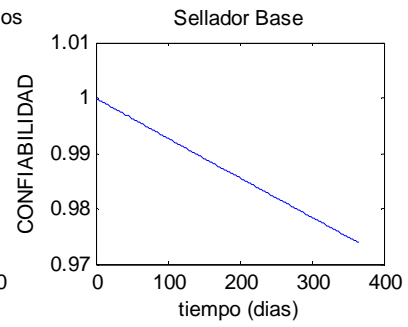
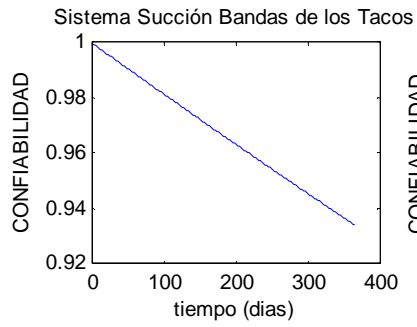
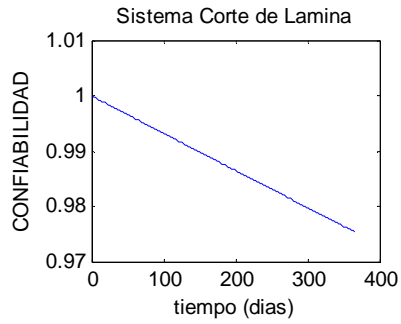
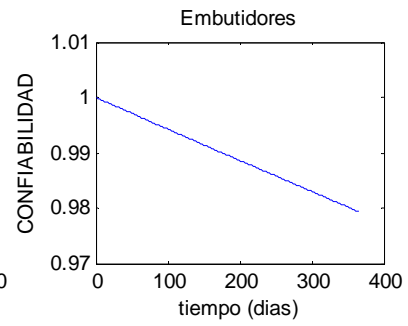
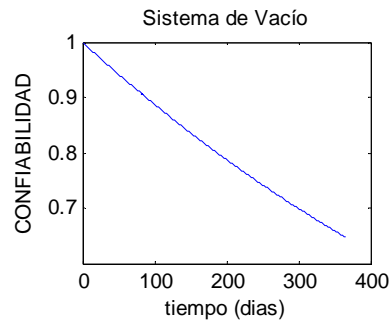
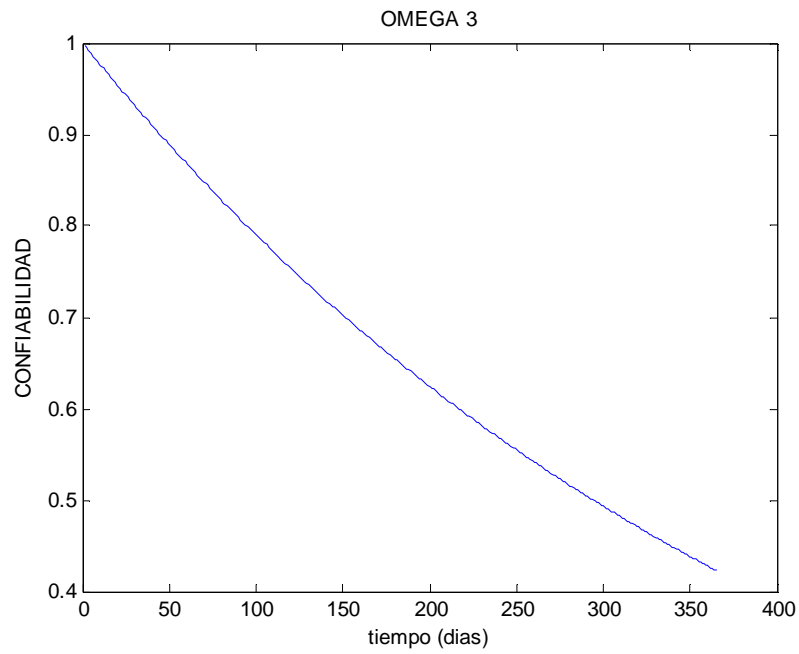
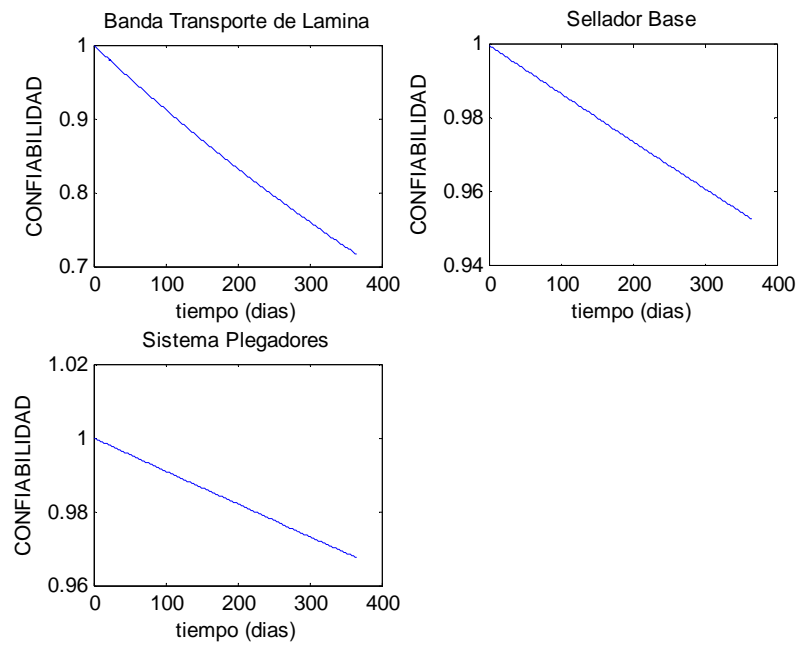


Figura 29 Gráfico confiabilidad omega 3



- MW 30

Figura 30 Gráficos confiabilidad por elemento de la MW 30



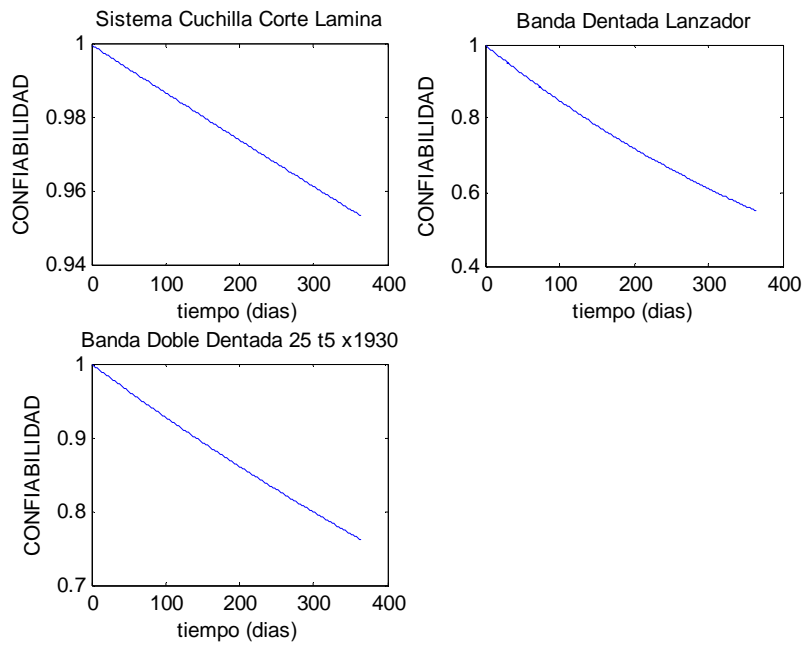
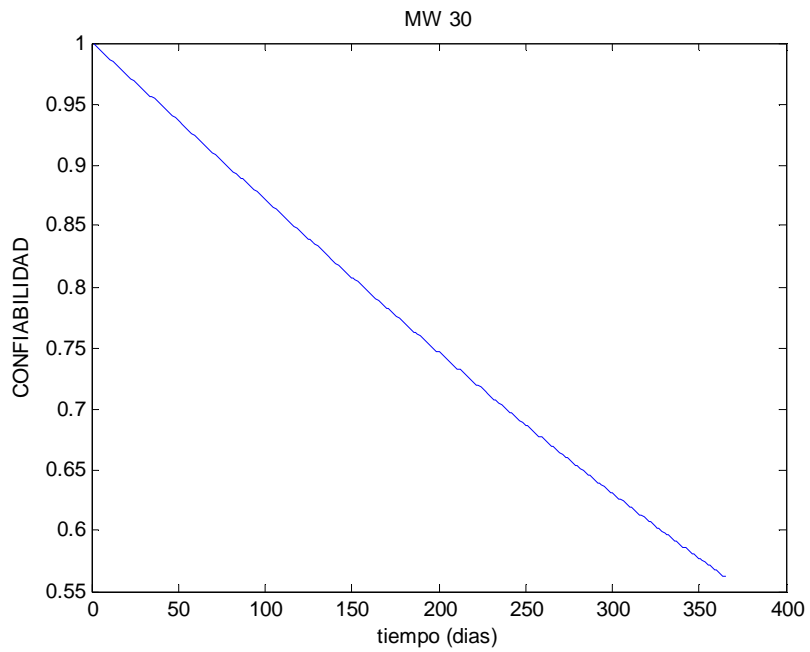


Figura 31 Gráfico confiabilidad MW 30



- PW 20

Figura 32 Gráficos confiabilidad por elemento de la PW 20

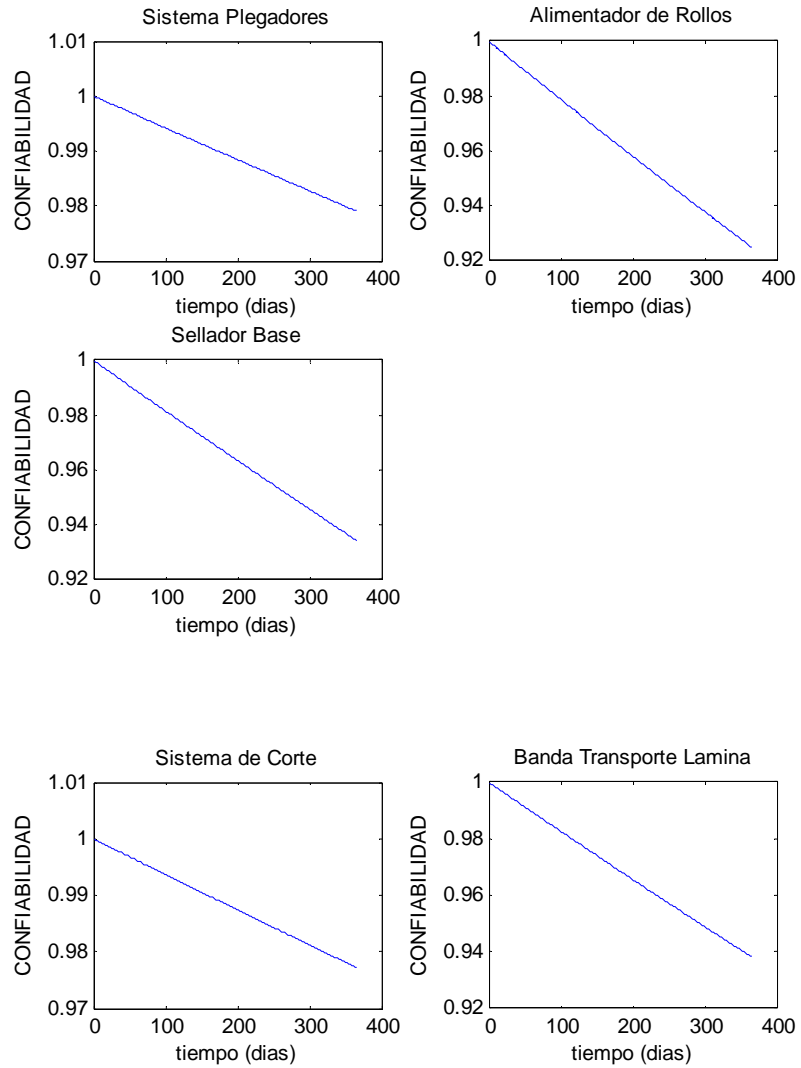
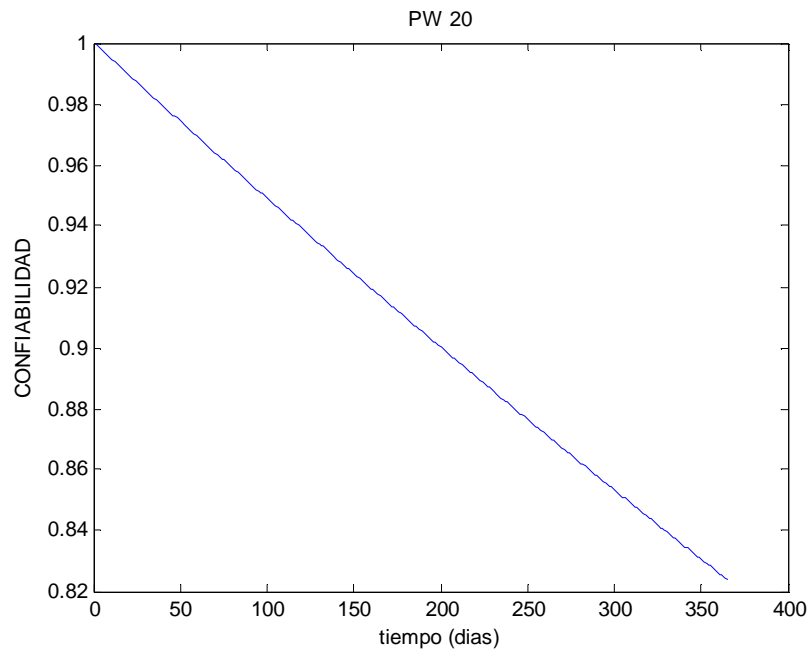


Figura 33 Gráfico confiabilidad PW 20



- PW 30

Figura 34 Gráfico confiabilidad por elemento de la PW 30

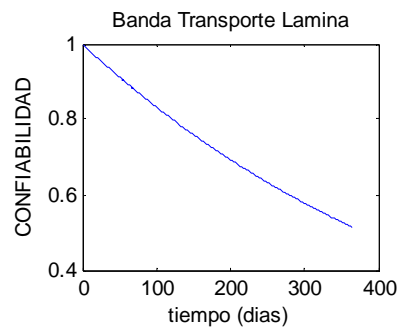
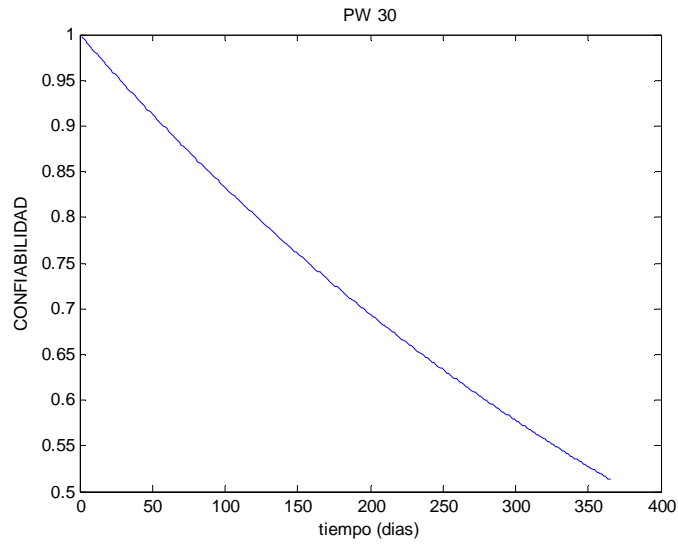
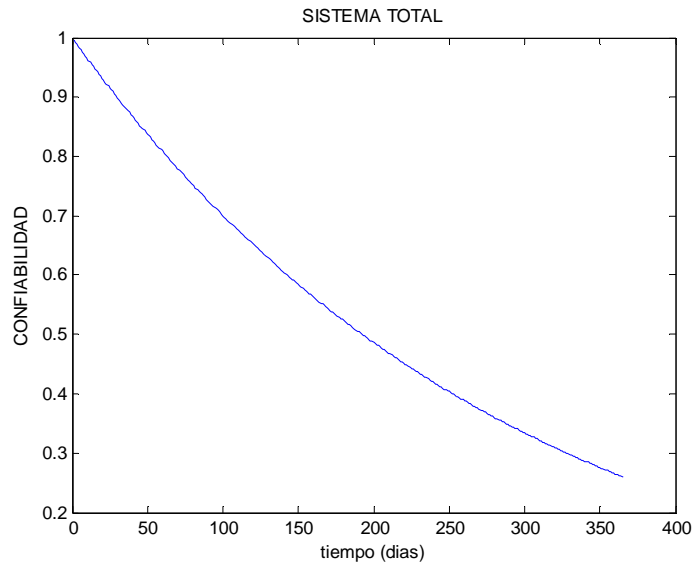


Figura 35 Gráfico confiabilidad PW 30



- Sistema total (conformadora de rollos)

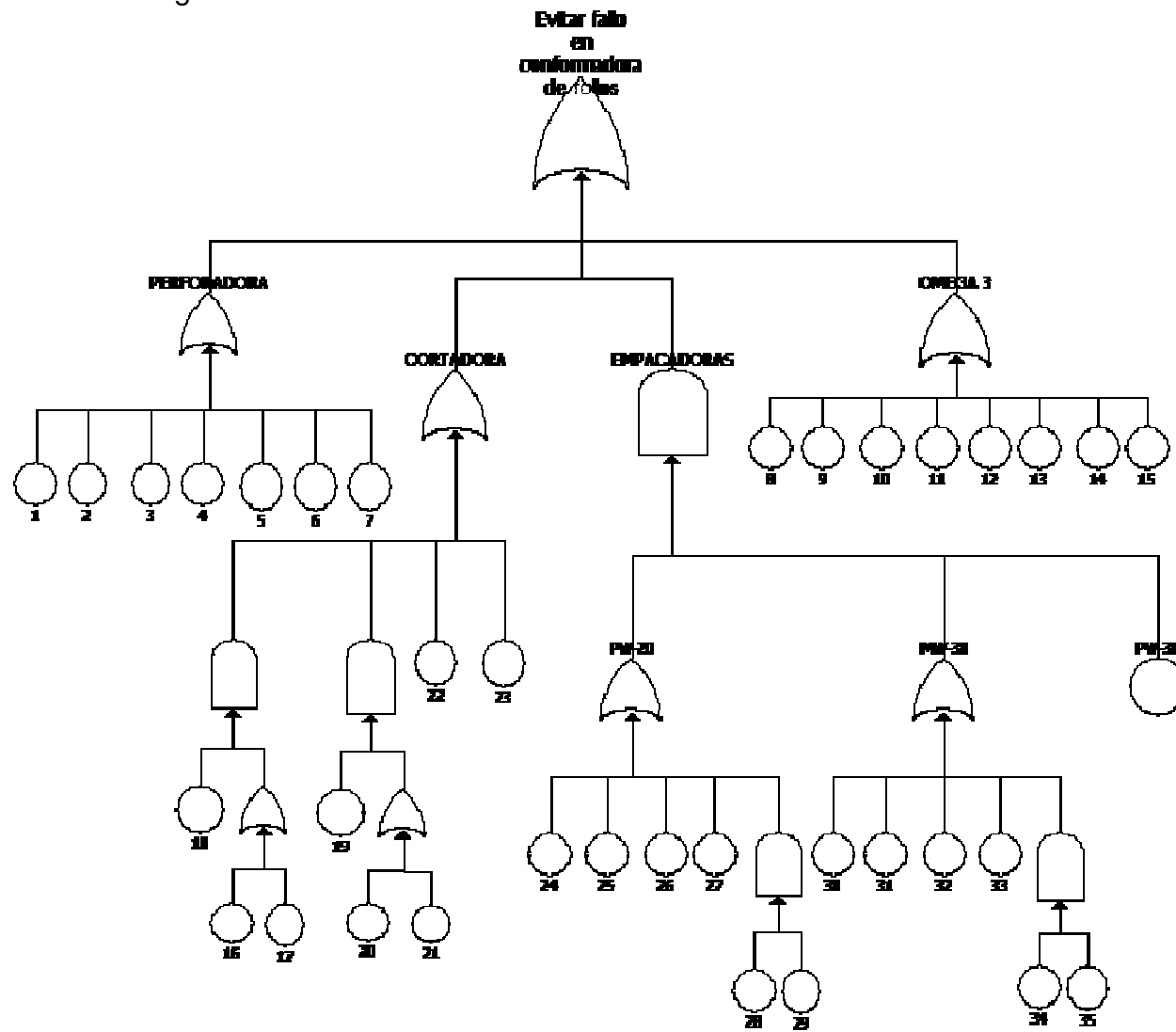
Figura 36 Gráfico confiabilidad conformadora de rollos



6.6 INCONFIABILIDAD POR ARBOL DE FALLA

Para implementar el árbol de fallos se utilizarán los símbolos descritos en el numeral 3.2.3, los cuales serán aplicados a la configuración del sistema definido en el numeral 6.3 cambiando los bloques en paralelo por compuertas AND y los bloques en serie por compuertas OR, obteniéndose así el siguiente árbol de fallo.

Figura 37 Representación gráfica del árbol de fallos



En la siguiente tabla se relaciona la numeración que se usó en el árbol de falla con el elemento que lo conforma.

Tabla 21 Relación número – elemento

RELACIÓN: NUMERACIÓN-ELEMENTO PARA FTA		
BLOQUE	NUMERACIÓN	ELEMENTO
PERFORADORA	7	Acumulador
	5	Banda del jinetillo
	6	Cuchilla descoladora
	3	Rodajas
	4	Sistema de moletas
	2	Gofrador
	1	Sistema de transferencia
CORTADORA	19 y 20	Sistema Cuchilla
	17	Freno Motor Principal
	21	Sistema Esmeril
	16 y 18	Motor Principal
	22	Torres
	23	Banda Transporte Salida
OMEGA 3	8	Banda Alimentación Rollo
	13	Sistema de Pinzas
	12	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación
	10	Sistema de Vacío
	16	Embutidores
	9	Sistema Corte de Lámina
	11	Sistema Succión Bandas de los Tacos
	14	Sellador Base
MW30	15	Expulsor de Rollo
	30	Banda Transporte de Lámina
	31	Sellador Base
	32	Sistema Plegadores
	33	Sistema Cuchilla Corte Lámina
	34	Banda Dentada Lanzador
PW 20	35	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930
	24	Sistema de Plegadores
	25	Alimentador de Rollos
	26	Sellador Base
	27	Sistema de Corte
PW 30	28 y 29	Banda Transporte Lámina
	36	Banda Transporte Lámina

Para el cálculo de la confiabilidad por árbol de fallas se utilizará la metodología descrita en el numeral 3.2.5 “Análisis cuantitativo”, la cual se aplicará al diagrama de árbol de fallas descrito en el numeral 6.6 y manipulando las funciones de distribución de probabilidad descritas en el numeral 6.2 con lo descrito en el numeral 1.2.1 se podrán obtener las funciones de distribución acumulativa

(funciones de inconfiabilidad) de cada elemento y así calcular la inconfiabilidad por: elemento, bloque operativo y sistema total para cualquier tiempo t.

Tabla 22 Inconfiabilidad por árbol de falla

INCONFIABILIDAD POR ARBOL DE FALLA PARA UN AÑO						
B L O Q U E	ELEMENTO	Confiability	Inconfiability	Inconfiability	Inconfiability por bloque	
		Individual pu R(t)=1-Q(t)	Individual pu Q(t)	individual (%) Q(t)		
P E R F O R A D O R A	Acumulador	0,9423	0,0577	5,77	0,3081	30,81%
	Banda del jinetillo	0,9277	0,0723	7,23		
	Cuchilla descoladora	0,9469	0,0531	5,31		
	Rodajas	0,9535	0,0465	4,65		
	Sistema de moletas	0,9631	0,0369	3,69		
	Gofrador	0,9546	0,0454	4,54		
	Sistema de transferencia	0,9535	0,0465	4,65		
C O R T A D O R A	Sistema Cuchilla	0,9681	0,0319	3,19	0,0769	7,69%
	Freno Motor Principal	0,9565	0,0435	4,35		
	Sistema Esmeril	0,4738	0,5262	52,62		
	Motor Principal	0,9815	0,0185	1,85		
	Torres	0,9831	0,0169	1,69		
	Banda Transporte Salida	0,9565	0,0435	4,35		
O M E G A 3	Banda Alimentación Rollo	0,9405	0,0595	5,95	0,5771	57,71%
	Sistema de Pinzas	0,9535	0,0465	4,65		
	Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	0,8509	0,1491	14,91		
	Sistema de Vacío	0,6474	0,3526	35,26		
	Embutidores	0,9794	0,0206	2,06		
	Sistema Corte de Lámina	0,9754	0,0246	2,46		
	Sistema Succión Bandas de los Tacos	0,9342	0,0658	6,58		
	Sellador Base	0,9732	0,0268	2,68		
Expulsor de Rollo	0,9652	0,0348	3,48			
M W 3 0	Banda Transporte de Lámina	0,7165	0,2835	28,35	0,4379	43,79%
	Sellador Base	0,9529	0,0471	4,71		
	Sistema Plegadores	0,9676	0,0324	3,24		
	Sistema Cuchilla Corte Lámina	0,9535	0,0465	4,65		
	Banda Dentada Lanzador	0,5488	0,4512	45,12		
	Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	0,7613	0,2387	23,87		
P W 2 0	Sistema de Plegadores	0,9791	0,0209	2,09	0,1760	17,60%
	Alimentador de Rollos	0,925	0,075	7,5		
	Sellador Base	0,9346	0,0654	6,54		
	Sistema de Corte	0,9772	0,0228	2,28		
P W 3 0	Banda Transporte Lámina	0,5134	0,4866	48,66	0,4866	48,66%
Inconfiabilidad de la conformadora de rollos				0,7401	74,01%	

A continuación se mostrarán las gráficas de inconfiabilidad para: cada elemento, cada bloque operativo y la conformadora de rollos para un período de un año.

- Perforadora

Figura 38 Gráficos inconfiabilidad por elemento de la perforadora

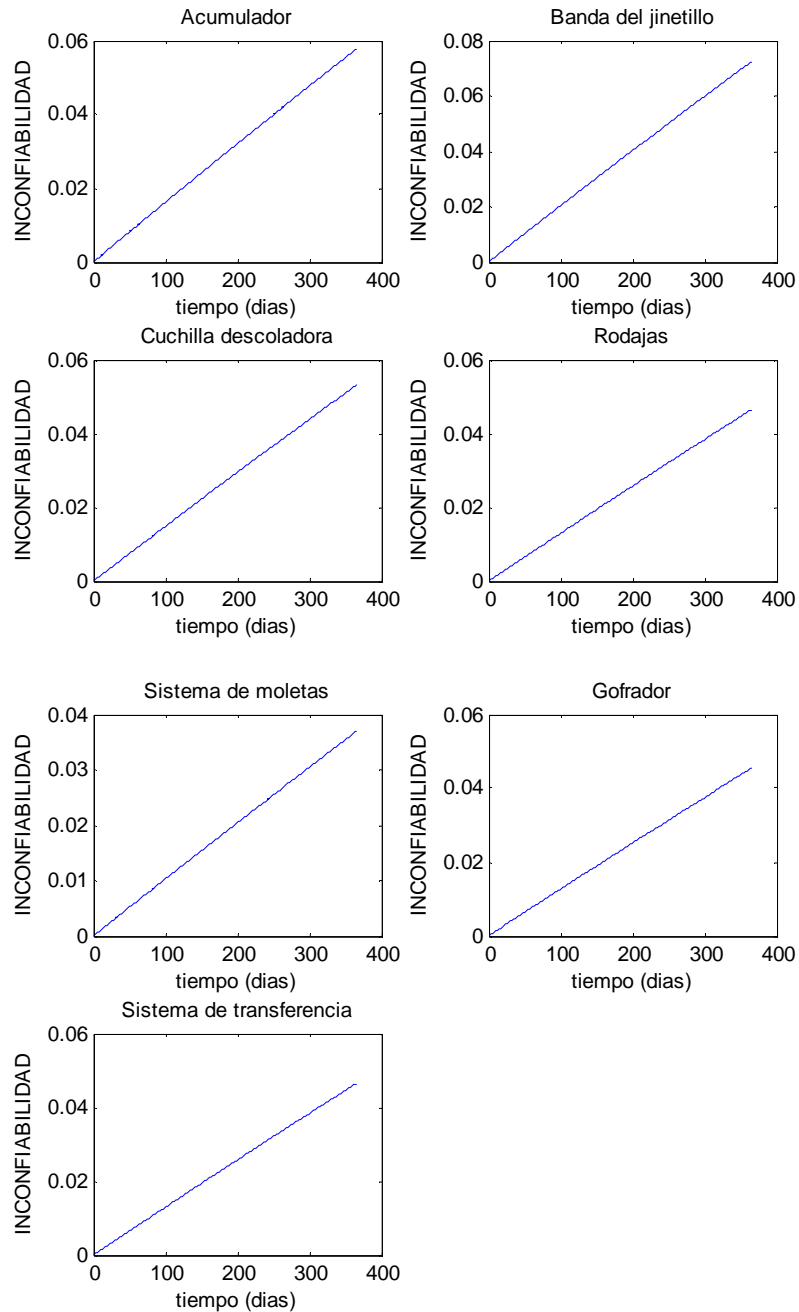
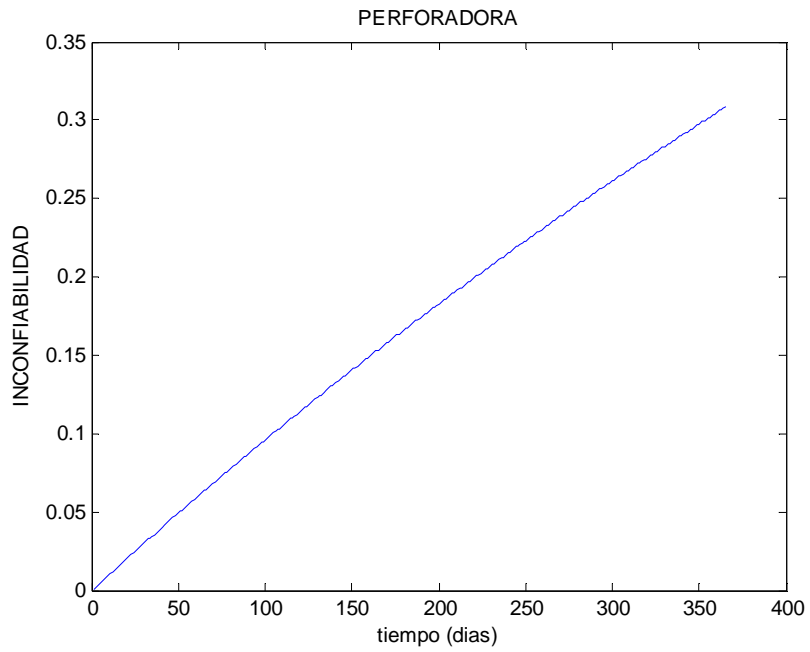
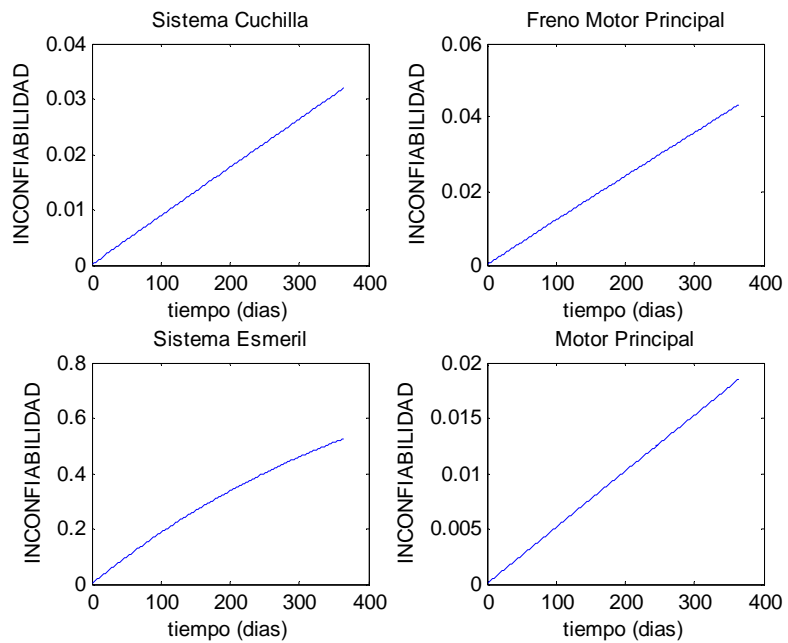


Figura 39 Gráfico inconfiabilidad perforadora



- Cortadora

Figura 40 Gráficos inconfiabilidad por elemento de la cortadora



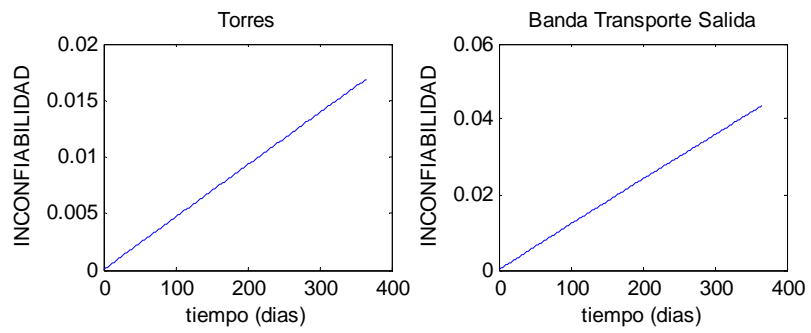
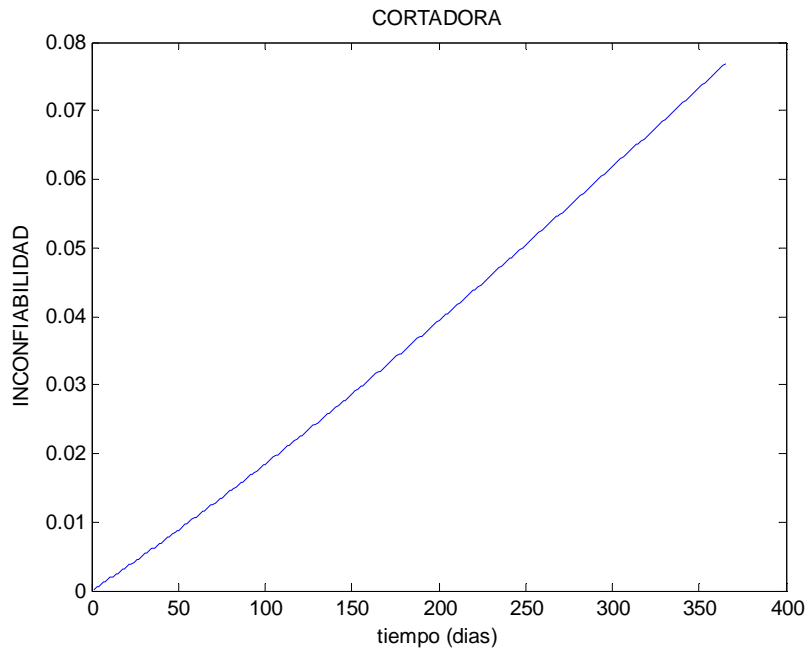
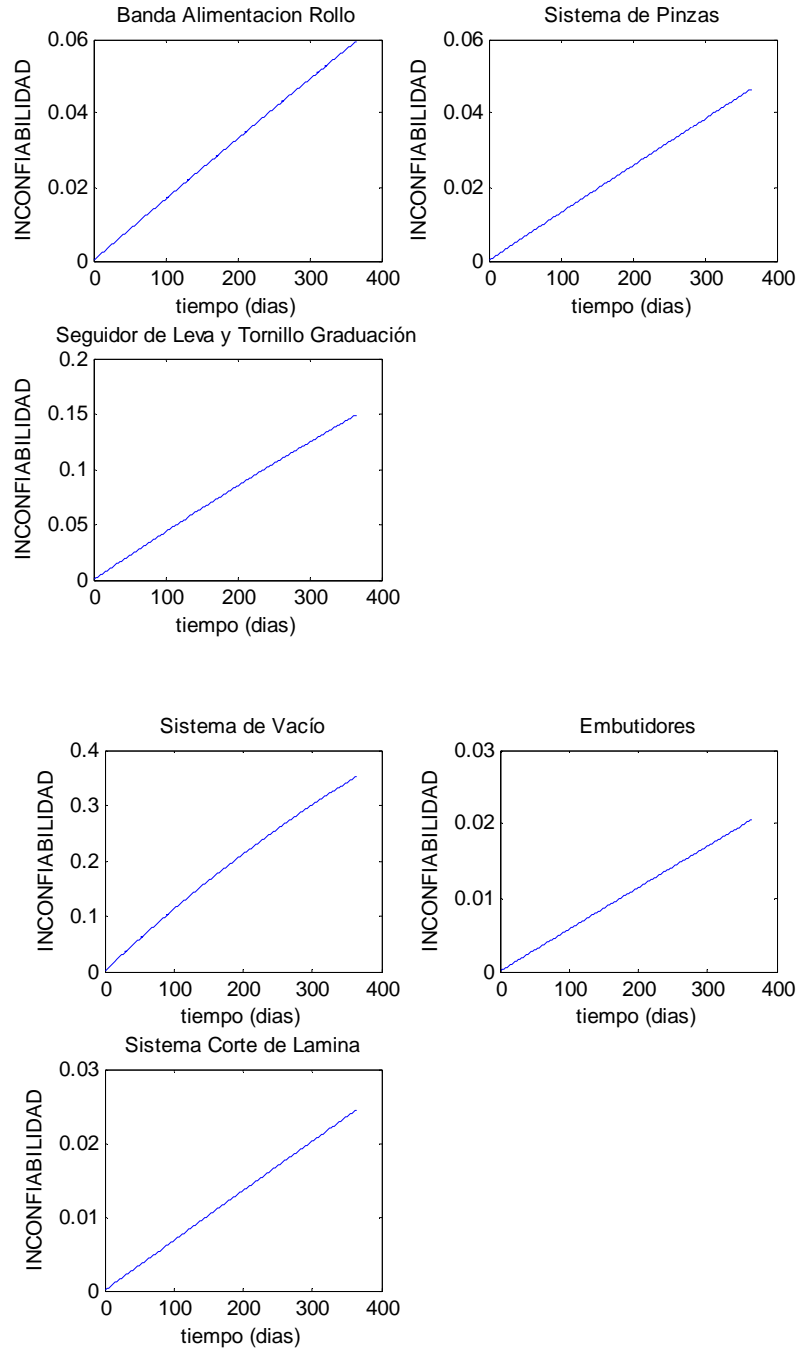


Figura 41 Gráfico inconfiabilidad cortadora



- Omega 3

Figura 42 Gráficos inconfiabilidad por elemento de la omega 3



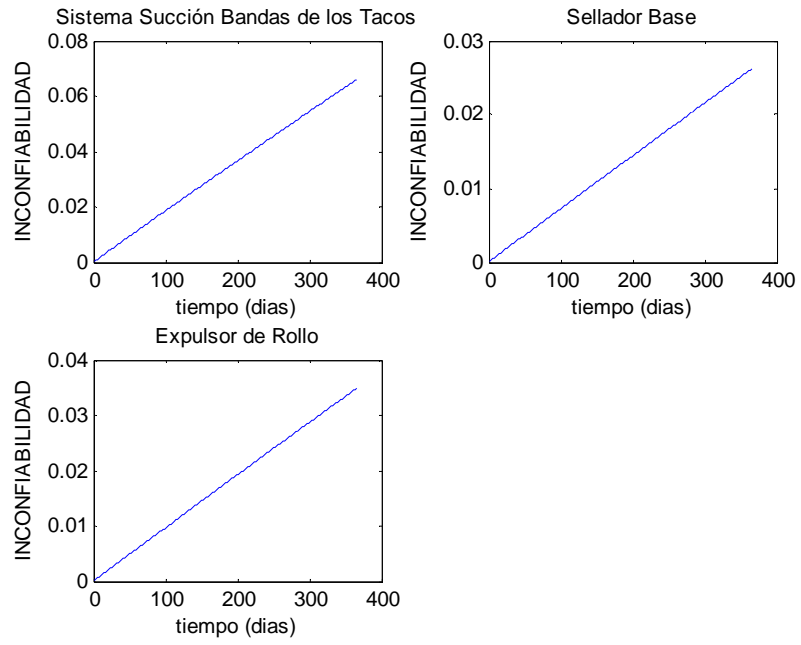
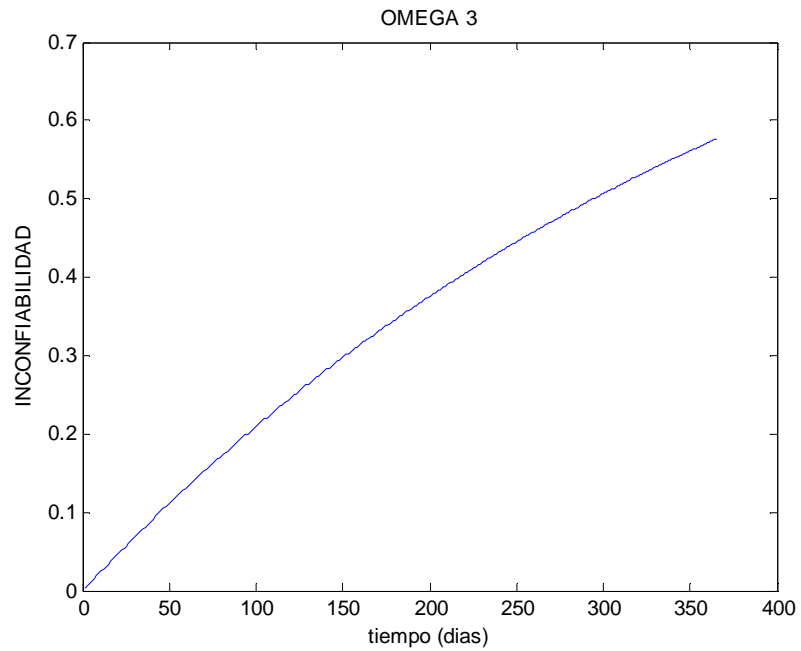


Figura 43 Gráfico inconfiabilidad omega 3



- MW 30

Figura 44 Gráficos inconfiabilidad por elemento de MW 30

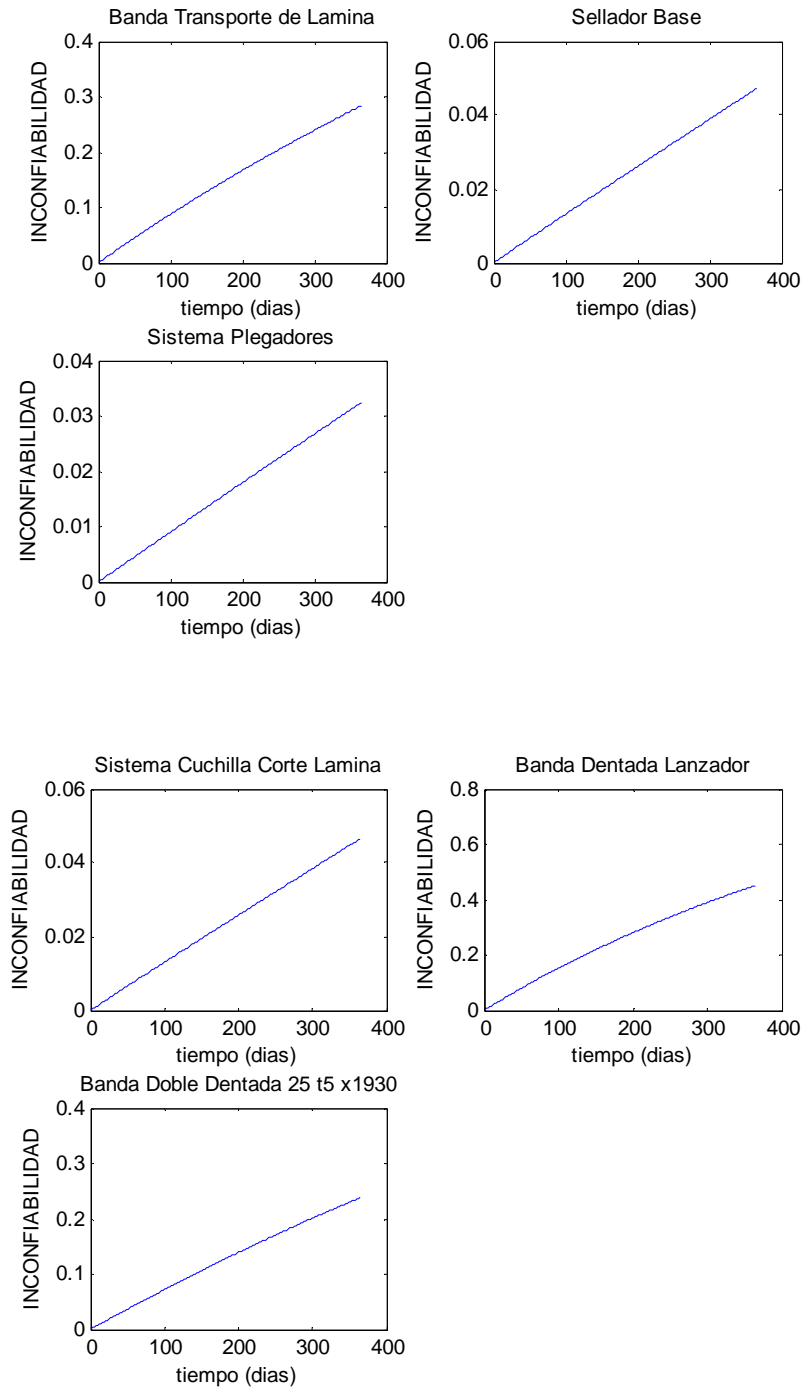
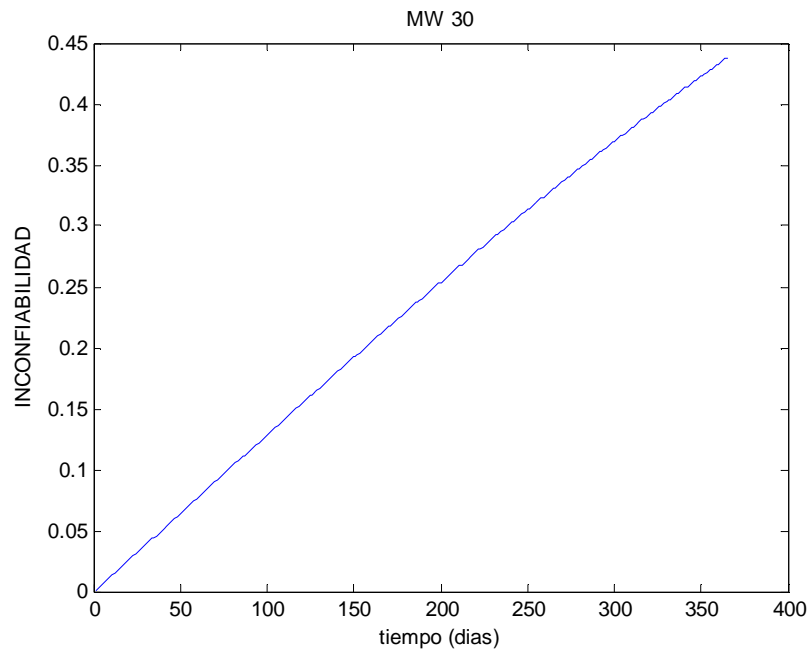
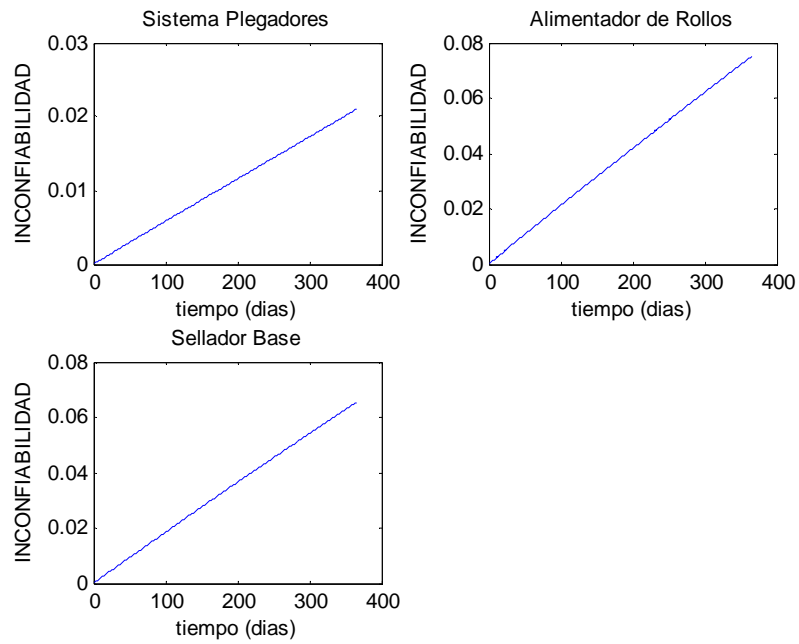


Figura 45 Gráfico inconfiabilidad MW 30



- PW 20

Figura 46 Gráficos inconfiabilidad por elemento de PW 20



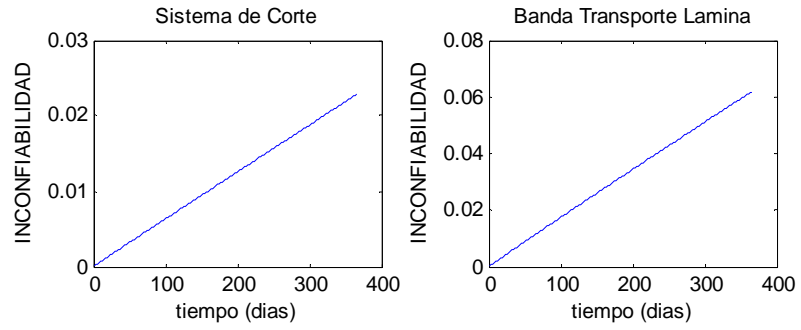
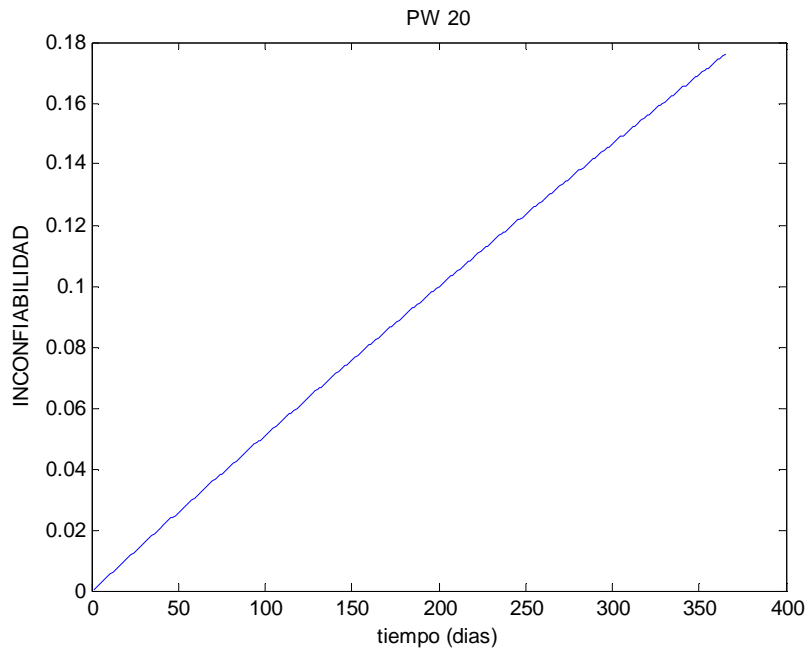


Figura 47 Gráfico inconfiabilidad PW 20



- PW 30

Figura 48 Gráfico inconfiabilidad por elemento de PW 30

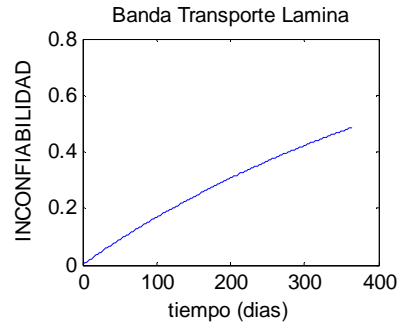
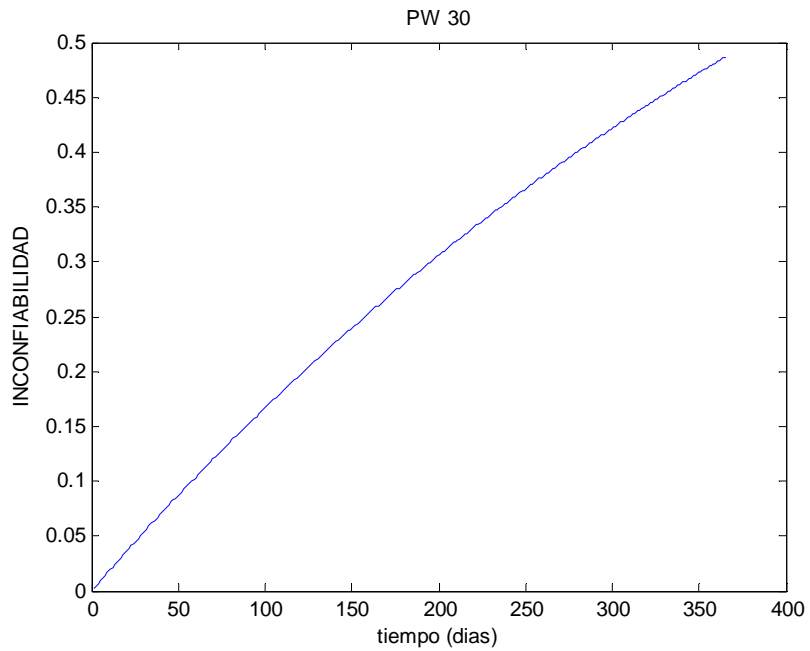
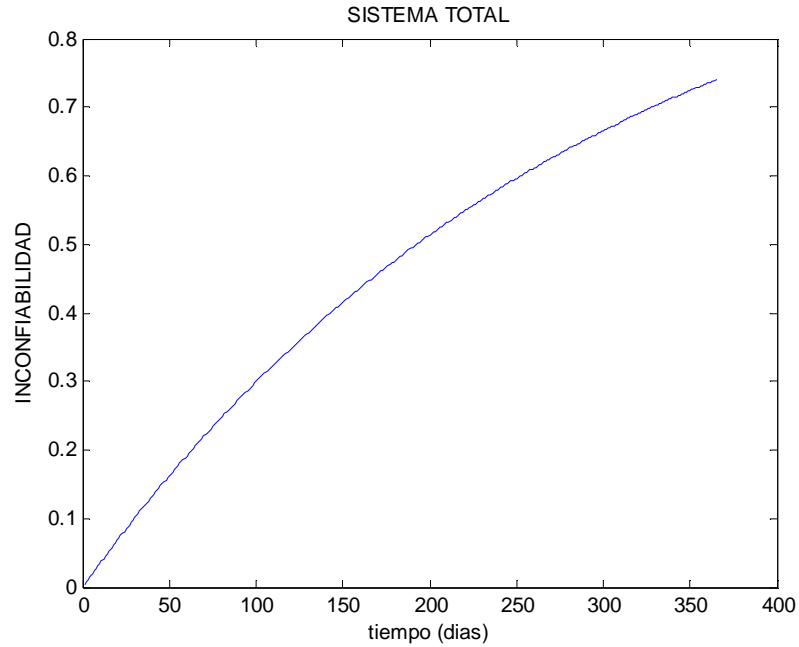


Figura 49 Gráfico inconfiabilidad PW 30



- Sistema total (conformadora de rollos)

Figura 50 Gráfico inconfiabilidad conformadora de rollos



6.7 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

6.7.1 Análisis del sistema a un año considerando solo las violaciones en los bloques operativos y en los elementos

Tabla 23 Comparativo de elementos para análisis a un año

Análisis de criticidad		Análisis de confiabilidad e inconfiabilidad		
FMEA	RPN	Diagramas de Bloques y FTA	Confiabilidad	Inconfiabilidad
Gofrador (Perforadora)	166	Sistema esmeril (Cortadora)	47,36%	52,64%
Freno motor principal (Cortadora)	152	Banda transporte lamina (PW30)	51,34%	48,66%
Sistema plegadores (MW30)	119	Banda dentada lanzador (MW30)	54,88%	45,12%
Sistema de moletas (Perforadora)	114	Sistema de vacio (Omega 3)	64,74%	35,26%

En la tabla anterior se aprecia que los elementos críticos según el FMEA no coinciden con los elementos para el análisis de confiabilidad e inconfiabilidad. Lo anterior no quiere decir que los métodos de análisis sean incompatibles o no se complementen. Ya que el FMEA permite identificar los elementos que al fallar producen en el sistema el fallo más severo y el análisis de confiabilidad e inconfiabilidad permite determinar en qué momento se deben intervenir los elementos de acuerdo al criterio del 70% del valor de confiabilidad o del 30% de la inconfiabilidad.

Considerando como valor mínimo el 70,00% de confiabilidad para (elementos, bloques operativos y el sistema total), se observa que al cabo de un año violan este límite:

- Elementos
 - Sistema de vacío (Omega 3) 64,74%
 - Sistema esmeril (Cortadora) 47,36%
 - Banda dentada lanzador (MW30) 54,88%
 - Banda transporte lamina (PW30) 51,34%
- Bloques operativos
 - Perforadora (69,19%)
 - Omega 3 (42,29%)
 - MW30 (56,21%)
 - PW30 (51,34%)
- El sistema total (25,99%)

De los 34 elementos que conforman la máquina, al cabo de un año solo 4 presentan una confiabilidad inferior al 70,00% los cuales representan el 11,76% de los elementos, en lo que respecta a los bloques operativos 4 de los 6 presentan una confiabilidad inferior al 70,00% los cuales representan el 66,66% de los bloques operativos y en lo que respecta a el sistema total su confiabilidad al cabo de un año es 25,99%.

De lo anterior se puede concluir que al cabo de un año desde el punto de vista de los elementos, estos presentan una buena confiabilidad, ya que solo el 11,76% de ellos estarían por debajo del límite permitido; y si a estos elementos se les hace el mantenimiento adecuado, operarían todos sin ningún inconveniente.

Desde el punto de vista de los bloques operativos, al cabo de un año presentan una confiabilidad baja ya que solo el 33,33% se encuentra por encima del mínimo, todo esto se debe a que cada bloque está conformado por combinaciones serie-paralelo de elementos preponderando la configuración serie y el resultado de la manipulación algebraica de las confiabilidades según el diagrama de bloques da como resultado un valor menor que:

- El del elemento serie con menor confiabilidad.
- El equivalente de los elementos en paralelo con menor confiabilidad.

Para la maquina en su conjunto, se tiene que al cabo de un año sin realizar ninguna labor de mantenimiento la confiabilidad es del 25,99%, el cual es un valor crítico y está ligado a la configuración de los bloques operativos que la conforman, el día para el cual la confiabilidad de la máquina llega al 70,00% es el día 100.

Para mejorar la confiabilidad de la maquina al cabo de un año se debe establecer un cronograma de mantenimiento, mediante el cual se implementen rutinas enfocadas a fortalecer los elementos más críticos, para esto, apoyados en el análisis de confiabilidad e inconfiabilidad se detecto que al cabo de un año los elementos críticos Tabla 24 y las fechas para intervenir el bloque operativo Tabla 25 servirán para establecer el cronograma de actividades de mantenimiento.

Tabla 24 Elementos críticos de acuerdo FTA y diagrama de bloques

Elemento	Confiabilidad	Inconfiabilidad	Día mantenimiento
Sistema esmeril (Cortadora)	47,36%	52,64%	175
Banda transporte lamina (PW30)	51,34%	48,66%	195
Banda dentada lanzador (MW30)	54,88%	45,12%	217
Sistema de vacio (Omega3)	64,74%	35,26%	298

Tabla 25 Día para intervención del bloque operativo

Bloque operativo	Día de mantenimiento
OMEGA 3	151
PW 30	190
MW 30	238
PERFORADORA	353
PW 20	662
CORTADORA	1350

De acuerdo a la tabla 25 se observa que para el día 151 es necesario realizar labores de mantenimiento en la OMEGA 3, y teniendo en cuenta que un paro en este bloque operativo implica paro de todo el sistema (ver Figura 23) es recomendable realizar ajustes sobre la PW30 e intervenir el *sistema de esmeril* de la CORTADORA, ya que este para el día 175, llegará al 70% de su confiabilidad y tendrá que ser intervenido y esto implicaría un nuevo paro en el sistema con una diferencia de 24 días con respecto al anterior paro total, si todo lo anterior es tenido en cuenta, cronológicamente los mantenimientos de los días 175 y 195 ya se habrán realizado y por consiguiente la próxima labor será la del día 238 pues aunque para el día 217 se llega al 70% de la confiabilidad en el elemento *banda dentada lanzador* del bloque MW30 la confiabilidad para el día 238 será del 67,62% dando una holgura de 21 días con respecto a su fecha de mantenimiento, lo anterior implica tener en stock el elemento por si en este lapso llegase a fallar, para el día 298 se tiene programada la labor sobre el *sistema de vacío* de la OMEGA 3, pero como cada 151 días se debe intervenir todo el bloque operativo la labor para este día será realizada el día 302, para el día 353 se tienen programadas labores de mantenimiento en la perforadora ya que esta alcanza el 70% de su confiabilidad y debido a que los bloques operativos PW20 y CORTADORA requieren un mantenimiento general al cabo de 662 y 1350 días respectivamente, entonces para el día 353 se aprovechara para realizar ajustes a sus componentes. En la Tabla 26 se aprecia el cronograma de actividades de mantenimiento para la conformadora de rollos.

Tabla 26 Cronograma para mantenimiento general y de oportunidad

DIA	ELEMENTO	BLOQUE	TIPO
151	Todos	OMEGA 3	General
	Todos	PW30	General
	Sistema esmeril	CORTADORA	Oportunidad
238	Todos	MW30	General
302	Todos	OMEGA 3	General
	Sistema esmeril	CORTADORA	Oportunidad
353	Todos	PERFORADORA	General
	Todos	CORTADORA	Oportunidad
	Todos	PW20	Oportunidad

6.7.2 Análisis hipotético del sistema a un año

- Hipótesis 1: Considerando la confiabilidad de las empacadoras al 100,00% durante un año.

Tabla 27 Comparativo empacadoras caso real vs caso hipotético

Confiabilidad Normal vs Hipotética Empacadoras 100,00% por un año		
BLOQUE	Confiabilidad normal	Confiabilidad hipotética
PERFORADORA	69,19%	69,19%
OMEGA 3	42,29%	42,29%
CORTADORA	92,31%	92,31%
MW30	56,21%	100,00%
PW 20	82,40%	100,00%
PW 30	51,34%	100,00%
TOTAL	25,99%	27,01%

Se observo bajo condiciones hipotéticas que la confiabilidad total a un año no mejoro de manera considerable. Llevando las tres empacadoras a una confiabilidad del 100.00% se observo que la confiabilidad total mejoro del 25,99 % al 27,01 %, esto en términos de mantenimiento no compensa el beneficio contra la inversión. Actividades de este tipo, implican un incremento de (personal, tiempo de paro, materiales, etc.) lo cual en se ve reflejado en aumento en los costos de producción

- Hipótesis 2: Considerando la confiabilidad de los elementos del RPN al 100,00% durante un año

Tabla 28 Comparativo RPN caso real vs caso hipotético

Confiabilidad Normal vs Hipotética Elementos RPN 100,00% por un año		
BLOQUE	Confiabilidad real	Confiabilidad hipotética
PERFORADORA	69,19%	75,26%
OMEGA 3	42,29%	42,29%
CORTADORA	92,31%	92,38%
MW30	56,21%	58,09%
PW 20	82,40%	82,40%
PW 30	51,34%	51,34%
TOTAL	25,99%	28,35%

Llevando los elementos más críticos que se detectaron mediante el FMEA a una confiabilidad hipotética del 100,00% durante un año con el objetivo de determinar que tanto afectaban la confiabilidad del sistema, se determinó que el efecto de estos elementos sobre la confiabilidad total era poco representativa ya que el incremento era tan solo del 2,36%. Este resultado podría causar alarma pues los elementos que encabezan el RPN son los más críticos desde el punto de vista de riesgo para la producción, ya que una falla de alguno de ellos causaría un paro prolongado del sistema, pero al tratarse de un sistema ya probado y operacional, es lógico que estos elementos presenten un alto grado de confiabilidad de modo que un fallo en ellos sea remoto.

- Hipótesis 3: Considerando la confiabilidad del sistema de vacío OMEGA 3 al 100,00% durante un año

Tabla 29 Comparativo Sistema vacío Omega 3 caso real vs caso hipotético

Confiabilidad Normal vs Hipotética Sistema de vacío OMEGA 3 100,00% por un año		
BLOQUE	Confiabilidad real	Confiabilidad hipotética
PERFORADORA	69,19%	69,19%
OMEGA 3	42,29%	65,32%
CORTADORA	92,31%	92,31%
MW30	56,21%	56,21%
PW 20	82,40%	82,40%
PW 30	51,34%	51,34%
TOTAL	25,99%	40,15%

Se observó que un elemento determinante a la hora de mejorar la confiabilidad total del sistema es el elemento "Sistema de vacío-OMEGA 3", al mejorar su confiabilidad del estado actual de 64,74% al hipotético caso del 100% para un año, la confiabilidad total aumentó en 14,16% quedando esta en 40,15%, lo anterior evidencia la necesidad de mejorar la confiabilidad del elemento, ello se logra entre otras formas con: una mejor ubicación física de la bomba de forma que no esté expuesta a elementos corrosivos, brigadas periódicas de limpieza de forma que sus materiales rotativos no se vean afectados por partículas de polvo que desgasten la vida útil de la parte, cambio de los filtros.

- Hipótesis 4: Extensión del periodo de confiabilidad del sistema total realizando mantenimiento solo al sistema vacío en el día 100.

Tabla 30 Extensión del periodo de confiabilidad del sistema total por mantenimiento al sistema vacío en el día 100.

BLOQUE	Día 100 antes de la corrección en sistema vacío	Día 100 después de la corrección en sistema vacío	Día 133
PERFORADORA	90,40%	90,40%	87,44%
OMEGA 3	78,99%	88,99%	82,32%
CORTADORA	98,15%	98,15%	97,49%
MW30	87,14%	87,14%	82,93%
PW 20	94,90%	94,90%	93,27%
PW 30	83,31%	83,31%	78,43%
TOTAL	70,02%	78,87%	70,00%

De acuerdo al estándar del 70% de confiabilidad admisible para una industria como la nuestra, se procedió a encontrar el día en el cual la conformadora de rollos alcanzaba este valor de confiabilidad, además, bajo la decisión de intervenir solamente el elemento más crítico de todo el sistema (Sistema de vacío-OMEGA3) se determinó cuánto tiempo más el sistema operaría sin violar el límite del 70%.

Al día 100, bajo condiciones normales de operación la conformadora de rollos alcanzó una confiabilidad del 70% por tal motivo es necesario tomar acciones de mantenimiento, para ello se intervino el sistema de vacío ya que es el elemento que más aporta a la inconfiabilidad del sistema, sin ser este el elemento con el peor índice de confiabilidad, el cual corresponde al sistema de esmeriles (Cortadora).

El sistema de esmeriles (Cortadora) no incide tanto a la hora de un fallo, pues debido a su ubicación en el modelo de la cortadora se encuentra en paralelo con el sistema de cuchilla, lo cual hace que el equivalente presente una confiabilidad mayor que la confiabilidad individual más grande.

Al realizar la acción correctiva sobre el sistema de vacío se encontró que la confiabilidad del sistema total se extiende 33 días más.

6.7.3 Análisis del sistema a un año considerando violaciones en el sistema, bloques operativos y elementos

- **Planeación de mantenimiento**

Con el objetivo de garantizar un funcionamiento adecuado que no viole el porcentaje de confiabilidad del 70% tanto para la conformadora de rollos como para los bloques operativos y los elementos, se propone la siguiente rutina de mantenimiento:

- Primer mantenimiento (día 100): en este día, se encontró que la confiabilidad total fue de 70,02%, lo cual hace necesario intervenir el sistema. Se propone intervenir totalmente: Perforadora y Omega 3 y el elemento Sistema esmeril-Cortadora. Con estas actividades la confiabilidad total subió al 98,21%.
- Segundo mantenimiento (día 195): para este día la confiabilidad total es del 69,52% lo cual viola el limite, esto se permitió ya que todos los bloques operativos para el día 190 no violaban el límite de confiabilidad del 70,00%, ya que este solo sería violado en el día 195 por la PW30 y así no se generarían dos paradas seguidas, una en el día 190 y la otra en el día 195. Para este día se propone intervenir totalmente la Omega 3 y la PW30 hechas estas labores, la confiabilidad total aumenta al 87,61%.
- Tercer mantenimiento (día 217): a este día se observó cómo caso puntual que en la banda dentada lanzador-MW30 tenía una confiabilidad de 70,00%, de todas formas es recomendable intervenir todo el bloque ya que al intervenir todo no se incurre en paro del sistema, esta acción da una confiabilidad total del 80,96%.
- Cuarto mantenimiento (día 257): a este día se observó que la confiabilidad del sistema ha decaído al 70,06% y el sistema esmeril-Cortadora se encuentra al 72,52% se decide intervenir la perforadora y como esto implica paro total se decide intervenir el sistema esmeril- Cortadora, llevando la confiabilidad total al 82,59%.
- Quinto mantenimiento (día 302): a este día la confiabilidad total es del 70,10%, dejando ver la necesidad de realizar labores de mantenimiento, para ello se interviene la Omega 3 siendo este bloque el que presenta la confiabilidad más baja (77,70%) y con esta acción se logra llevar la confiabilidad del sistema al 90,22%.
- Sexto mantenimiento (día 370): para este día se hace necesaria la intervención de los siguientes bloques PW30, Perforadora, Cortadora. Cabe anotar que es la primera acción que se realiza sobre la cortadora como un conjunto total, esto obedece a su modelo de confiabilidad. La confiabilidad total para este día era del 70,12% y con las labores realizadas se llevo al 85,18%.

- Séptimo mantenimiento (día 424): Este día se hace necesaria la intervención de los siguientes bloques Omega 3, MW30 y PW20. Recalcando que es la primera intervención que se realiza en la PW20. Realizar la labor de mantenimiento en la Omega 3 implica paro total, dando pie a que se puedan realizar labores de mantenimiento en la MW30 debido a que la banda dentada lanzador presenta una confiabilidad baja y realizar una labor de mantenimiento en la PW20 surge como una parada de oportunidad, la confiabilidad total para el día 424 era del 69,99% y con estas labores aumenta al 93,79%.
- Octavo mantenimiento (día 505): en este día se encontró que era necesario intervenir la Perforadora y el sistema esmeril-Cortadora para mantener la confiabilidad total por encima del 70%. Inicialmente la confiabilidad total estaba en 70,18% y con las labores de mantenimiento subió 80,66%.
- Noveno mantenimiento (día 544): para esta parte del análisis se intervino la Omega 3 y la PW30, después de intervenir los conjuntos descritos la confiabilidad pasó de 70,06% a 93,21%.
- Decimo mantenimiento (día 622): a este día se observo que la confiabilidad del sistema ha decaído hasta el 70,23%, se decide intervenir la perforadora y la MW30 implicando con esto un aumento en la confiabilidad de 79,29%.
- Undécimo mantenimiento (día 656): en este día, se encontró que la confiabilidad total fue de 70,09%, lo cual hace necesario intervenir el sistema. Se propone intervenir totalmente: la Omega 3 y el elemento Sistema esmeril-Cortadora. Con estas actividades la confiabilidad total subió al 91,88%.

Con todo lo anterior se llega al día 730 (2 años) con una confiabilidad total de sistema del 70,01% además cabe anotar que cada bloque operativo también se encuentra sobre este valor.

Tabla 31 Estado del sistema para el día antes y después de mantenimiento

Estado del sistema para el día antes y después de mantenimiento								
BLOQUE	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
	100	100	195	195	217	217	257	257
PERFORADORA	90,40%	100,00%	90,86%	90,86%	88,86%	88,86%	85,35%	100,00%
OMEGA 3	78,99%	100,00%	79,93%	100,00%	94,94%	94,94%	86,40%	86,40%
CORTADORA	98,15%	98,31%	96,42%	96,42%	95,95%	95,95%	95,08%	95,66%
MW30	87,14%	87,14%	75,22%	75,22%	72,56%	100,00%	94,88%	94,88%
PW 20	94,90%	94,90%	90,26%	90,26%	89,21%	89,21%	87,32%	87,32%
PW 30	83,31%	83,31%	70,04%	100,00%	96,06%	96,06%	89,29%	89,29%
TOTAL	70,02%	98,21%	69,52%	87,61%	80,86%	80,96%	70,06%	82,59%

BLOQUE	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
	302	302	370	370	424	424	505	505
PERFORADORA	95,56%	95,56%	89,22%	100,00%	94,70%	94,70%	87,26%	100,00%
OMEGA 3	77,70%	100,00%	85,18%	85,18%	75,00%	100,00%	82,61%	82,61%
CORTADORA	94,69%	94,69%	93,15%	100,00%	99,04%	99,04%	97,45%	97,72%
MW30	89,08%	89,08%	80,41%	80,41%	73,76%	100,00%	89,59%	89,59%
PW 20	85,24%	85,24%	82,18%	82,18%	79,81%	100,00%	95,86%	95,86%
PW 30	82,25%	82,25%	72,64%	100,00%	90,61%	90,61%	78,15%	78,15%
TOTAL	70,10%	90,22%	70,12%	85,18%	69,99%	93,79%	70,18%	80,66%
BLOQUE	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
	544	544	622	622	656	656	730	730
PERFORADORA	96,14%	96,14%	88,86%	100,00%	96,63%	96,63%	89,67%	89,67%
OMEGA 3	75,35%	100,00%	83,20%	83,20%	76,79%	100,00%	83,99%	83,99%
CORTADORA	96,95%	96,95%	95,31%	95,31%	94,55%	95,17%	93,52%	93,52%
MW30	84,58%	84,58%	74,85%	100,00%	95,66%	95,66%	86,12%	86,12%
PW 20	93,91%	93,91%	90,11%	90,11%	88,50%	88,50%	85,06%	85,06%
PW 30	72,77%	100,00%	86,72%	86,72%	81,50%	81,50%	71,20%	71,20%
TOTAL	70,06%	93,21%	70,23%	79,29%	70,09%	91,88%	70,01%	70,01%

De la tabla 31 al promediar las confiabilidades de cada bloque operativo antes de la labor de mantenimiento se observan los resultados de la Tabla 32, los cuales permiten visualizar aproximadamente para qué valor de confiabilidad se debe intervenir cada bloque operativo de modo que se pueda garantizar una confiabilidad total mayor o igual al 70,00% durante todo el tiempo de operación.

Tabla 32 Confiabilidad promedio antes del mantenimiento

BLOQUE OPERATIVO	CONFIABILIDAD PROMEDIO ANTES DEL MANTENIMIENTO
PERFORADORA	91,13%
OMEGA 3	81,67%
CORTADORA	95,86%
MW30	83,65%
PW 20	88,53%
PW 30	81,21%
TOTAL	70,94%

Al evaluar la confiabilidad del sistema con los resultados de la Tabla 32 se obtuvo un valor del 71,09%, el cual es un valor que se encuentra sobre el mínimo permitido pero es muy cercano al límite lo cual indica que ante una anomalía en los bloques operativos más críticos (PERFORADORA y OMEGA 3) la confiabilidad total puede llegar a tener valores menores a el admisible.

6.7.4 Análisis de confiabilidad considerando los elementos más críticos del sistema

Desde el punto de vista operativo intervenir solo los elementos más críticos con la finalidad de mejorar la confiabilidad total del sistema no es viable, ya que los tiempos de intervención por mantenimiento cada vez son más cercanos, como se puede apreciar en la Tabla 33, en donde el primer mantenimiento se haría el día 100, el segundo el día 157, el tercero el día 190, el cuarto el día 209 y el quinto el día 220, si se continuara el análisis de esta forma se llegaría al momento en el cual sería necesario intervenir el sistema diariamente.

Tabla 33 Confiabilidad del sistema interviniendo solo los elementos más críticos

Confiabilidad de los elementos y el sistema para el día antes y después del mantenimiento										
Elementos más críticos	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después
	100	100	157	157	190	190	209	209	220	220
Sistema Esmeril	81,49%	100,00%	88,99%	100,00%	93,47%	100,00%	96,19%	100,00%	97,77%	100,00%
Banda Transporte Lamina	83,31%	100,00%	90,11%	100,00%	94,15%	100,00%	96,59%	100,00%	98,01%	100,00%
Banda Dentada Lanzador	84,84%	100,00%	91,06%	100,00%	94,72%	100,00%	96,93%	100,00%	98,21%	100,00%
Sistema de Vacío	88,77%	100,00%	93,44%	100,00%	96,15%	100,00%	97,76%	100,00%	98,70%	100,00%
Banda Transporte de Lamina	91,27%	100,00%	94,93%	100,00%	97,03%	100,00%	98,28%	100,00%	99,00%	100,00%
Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	92,80%	100,00%	95,83%	100,00%	97,56%	100,00%	98,59%	100,00%	99,18%	100,00%
Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	95,67%	100,00%	97,51%	100,00%	98,55%	100,00%	99,16%	100,00%	99,51%	100,00%
Alimentador de Rollos	97,89%	100,00%	98,79%	100,00%	99,30%	100,00%	99,60%	100,00%	99,77%	100,00%
Banda del jinetillo	97,97%	100,00%	98,84%	100,00%	99,32%	100,00%	99,61%	100,00%	99,77%	100,00%
Sistema Succión Bandas de los Tacos	98,15%	100,00%	98,94%	100,00%	99,39%	100,00%	99,65%	100,00%	99,80%	100,00%
Sellador Base	98,16%	100,00%	98,95%	100,00%	99,39%	100,00%	99,65%	100,00%	99,80%	100,00%
TOTAL	72,02%	85,97%	70,12%	78,86%	70,07%	75,01%	70,07%	72,88%	70,06%	71,67%

6.7.5 Ventajas y desventajas de la técnica de modos de falla

Tabla 34 ventajas y desventajas de la técnica de modos de falla

Técnica	Ventajas	Desventajas
FMEA	<ul style="list-style-type: none"> • Permite identificar los elementos más críticos para el sistema con la ayuda del RPN. • Permite mejorar la confiabilidad del sistema y la calidad de producto. • Permite tomar medidas tempranas sobre los elementos más críticos del sistema. • Requiere una revisión detallada de cada componente del equipo y por ende un mejor conocimiento del sistema. • Permite reducir los tiempos de reparación. • Ayuda a reducir costos de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el análisis no es hecho por expertos se pueden obtener resultados erróneos. • Sólo identifica modos de fallo individuales. • Es difícil identificar los modos de fallo del equipo si este es nuevo.
Diagramas de Bloques	<ul style="list-style-type: none"> • Permite determinar la confiabilidad de los bloques operativos y del sistema. • Permite determinar elementos con baja confiabilidad y así determinar si es necesario instalar un elemento redundante. • Permite determinar la fecha de intervención de un bloque operativo o elemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se deben tener los modelos de confiabilidad de todos los componentes del sistema. • Todos los modelos deben presentar una distribución exponencial.
FTA	<ul style="list-style-type: none"> • Permite determinar la inconfiabilidad de los bloques operativos y del sistema. • Permite comprender mejor el sistema ya que se requiere un completo estudio del elemento o bloque operativo. • Permite identificar los eslabones más débiles del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su aplicación requiere personal experto. • Dificultad para asignar valores numéricos a las probabilidades si no se tienen los modelos. • Se deben tener los modelos de inconfiabilidad de todos los componentes del sistema.

7 CONCLUSIONES

El FMEA es una metodología que permite identificar cuáles de todos los elementos que conforman un sistema son los más críticos, pero presenta la siguiente desventaja, requiere de un amplio conocimiento del proceso por parte de los encargados de implementar la metodología ya que si estos no poseen el suficiente conocimiento en el instante de calificar los índices de detección y severidad estos pueden hacer: que un elemento que no sea crítico para el sistema aparezca como elemento potencial de falla siendo esto poco relevante para el sistema ya que su probabilidad de falla real sería muy pequeña o que un elemento crítico para el sistema no aparezca como elemento potencial de falla es decir se camufle en el ranking ocupando un sitio de poca importancia y por ende no sea tenido en cuenta como elemento potencial de falla y exponga el sistema a un fallo inesperado y potencialmente crítico.

Al realizar un estudio de confiabilidad es necesario determinar el tipo de información que se tiene para el análisis, por tal razón es indispensable realizar una depuración a la información ya que en muchos casos en esta se encuentran registrados datos que no contribuyen al análisis, o son datos que no siguen la tendencia del fenómeno o correspondan a eventos extraordinarios que lo único que harían es distorsionar el resultado.

El RPN es un indicador de riesgo y no de confiabilidad por tal motivo el elemento más crítico según el RPN no necesariamente será el elemento con la confiabilidad más mala en todo el sistema, sino que hace referencia al elemento que en el momento de su falla causará el mayor traumatismo para la producción.

Aunque los elementos críticos del FMEA no coincidan con los elementos para el análisis de confiabilidad e inconfiabilidad, esto no implica que los métodos de análisis sean incompatibles o no se complementen. Ya que el FMEA permite identificar los elementos que al fallar producen en el sistema el fallo más severo y el análisis de confiabilidad e inconfiabilidad permite determinar en qué momento se deben intervenir los elementos de acuerdo al criterio del 70% del valor de la confiabilidad o del 30% del valor de la inconfiabilidad.

De los análisis de confiabilidad e inconfiabilidad y teniendo en cuenta que ambos requieren de diferentes manipulaciones algebraicas se pudo comprobar que son complementarios $R(t) + Q(t) = 1$, y, por lo tanto al realizar un análisis de

confiabilidad inherentemente se está realizando el correspondiente análisis de confiabilidad y viceversa.

Los elementos que presentan mayor RPN son de gran importancia para el estudio de la confiabilidad del sistema aun sin importar si estos presentan una alta probabilidad de falla, para este proyecto esto es evidente y se aprecia en el elemento que encabeza el RPN el cual es el gofrador el cual requerirá la intervención de mantenimiento en el día 2800 ya que para ese día su confiabilidad llega al 70%. Al observar el RPN, el índice de ocurrencia en realidad, no es el factor de peso ya que lo que en realidad hace importante este elemento desde el punto de vista de confiabilidad del sistema son sus índices de detección y severidad.

La disponibilidad de todos los elementos es alta y cercana al 100% teniendo como valor mínimo 98,14% (Banda alimentación rollo-OMEGA 3) y como máximo 99,99% (rodajas-PERFORADORA).

Desde el punto de vista de los datos estadísticos se concluye que el Sistema de Vacío de la OMEGA 3 es el elemento más crítico a la hora de requerir una reparación, ya que su tiempo promedio para reparación MTTR es 6,13 horas, y desde el punto de vista de la confiabilidad total del sistema también lo es ya que su confiabilidad decrece rápidamente y afecta potencialmente la confiabilidad del bloque operativo y por consiguiente la del sistema ya que en el modelo de confiabilidad esta en serie.

El efecto de las empacadoras (MW30, PW20 y PW30) sobre la confiabilidad del sistema es poco significativo y esto se debe a su configuración paralelo y a la alta confiabilidad de sus elementos.

Una mejora en la confiabilidad de las empacadoras (MW30, PW20 y PW30) no representa un gran incremento en la confiabilidad total del sistema, es mas garantizar en todas las empacadoras una confiabilidad del 100,00% durante todo un año implica una gran inversión de dinero para obtener tan solo un incremento en la confiabilidad del sistema del 1,02% quedando esta en 27,01%.

Llevando los elementos más críticos que se detectaron mediante el FMEA a una confiabilidad hipotética del 100,00% durante un año, se observo que no son determinantes a la hora de mejorar la confiabilidad total, ya que el incremento fue de solo 2,36% quedando en 28,35%. Lo cual es lógico ya que los elementos que aparecen en el RPN tienen confiabilidades altas alrededor del 96,00% (son

elementos robustos de modo que nunca fallen) ya que una falla en ellos implicaría un paro total prolongado.

Se observo que un elemento determinante a la hora de mejorar la confiabilidad total del sistema es el elemento "sistema de vacío-OMEGA 3", al mejorar su confiabilidad del estado actual de 64,74% al hipotético caso del 100% para un año, la confiabilidad total aumentó el 14.16% quedando esta en 40,15%, lo anterior evidencia la necesidad de mejorar la confiabilidad del elemento, ello se logra entre otras formas con: una mejor ubicación física de la bomba de forma que no esté expuesta a elementos corrosivos, brigadas periódicas de limpieza de forma que sus materiales rotativos no se vean afectados a partículas de polvo que desgasten la vida útil de la parte.

Para garantizar una confiabilidad total en el tiempo mayor al 70% es recomendable que las confiabilidades de los bloques operativos sean del orden de las que se aprecian en la Tabla 32.

La información de fallos que se registra en la base de datos de la empresa papelera se debe estandarizar de modo que no se presenten problemas con los datos consignados a la hora de ser manipulados en cualquier tipo de análisis. Para evitar esto la información debe ser consignada por el personal de mantenimiento evitando registrar como un fallo los ajustes sobre la marcha del proceso.

Una forma de reducir los tiempos de falla es por medio de una rápida consecución de repuestos, para ello el almacén debe garantizar un rápido servicio de entrega del repuesto y el personal de mantenimiento debe tener una idea centrada de lo que solicita, lo anterior se logra mediante la codificación de los repuestos y una buena organización del almacén.

8 RECOMENDACIONES

Estas recomendaciones surgen debido a la observación, análisis, y manipulación de los datos. Además, debido a la interacción con el personal de mantenimiento y operarios, se llegó a las siguientes recomendaciones enfocadas a aumentar la confiabilidad.

AL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

- **Centralización en la alimentación del reporte de fallos:** Actualmente al documento de reporte de fallos todo el personal de mantenimiento (auxiliares, operarios, aprendices, supervisores) tienen acceso, llenando la información de acuerdo a su criterio, posteriormente el planeador de mantenimiento consigna todas estas discrepancias en un reporte diario de Excel, y al no hacer un filtro adecuado, información defectuosa o con un criterio sesgado de fallo queda registrada trayendo como consecuencia datos anómalos y falsos criterios de tiempos perdidos.
- **Revisión periódica del cronograma de mantenimiento:** Mensualmente el departamento de mantenimiento realiza un cronograma de actividades, en el se realizan labores que abarcan desde limpieza básica hasta cambio de piezas. El criterio que actualmente se usa para la implementación de estas rutinas son históricos que datan de más de 7 años, teniendo en cuenta las adaptaciones y modificaciones que constantemente sufren las máquinas. Se recomienda la continua actualización de estos cronogramas de acuerdo a las técnicas modernas de mantenimiento.
- **Software de aplicación:** en la actualidad se cuenta con un software de aplicación que integra las diferentes áreas como son: mantenimiento, almacén y la cadena de reabastecimiento (compras) permitiendo consultar en línea las disposiciones de materiales, reservas sobre elementos que estén disponibles en stock o próximos a ingresar para labores programadas y situaciones de emergencia. Se detectó que esta herramienta no ha sido aprovechada al máximo puesto que la información se centra solamente en personal supervisor y en los planeadores de mantenimiento, ello implica que un operario al advertir la carencia de un repuesto se debe remitir a estas personas para consultar y disponer de dicho elemento. Se propone como mecanismo para superar esta deficiencia la capacitación del personal de mantenimiento en el manejo del software en el módulo de consulta.

También se propone con el objetivo de hacer más ágil y eficiente lo anterior la disponibilidad de computadores en lugares estratégicos dentro de la planta, de forma tal que el operario tenga de primera mano la información.

- **Hojas de vida de repuestos adecuada:** Un problema que se ha detectado regularmente que ha llevado a la pérdida de tiempo en la búsqueda de un elemento es la deficiencia que presenta el maestro de repuestos en lo referente a la codificación de los elementos, se han encontrado casos donde un mismo elemento ha sido creado con diferentes nombres, seriales incompletos y referencias con descripciones obsoletas, la recomendación que se propone es la revisión por parte de los departamentos de mantenimiento y almacén a todo el maestro de repuestos para la ubicación de estos casos y por parte del área de compras la solicitud a los proveedores de las últimas actualizaciones de estas referencias para la actualización del sistema.
- **Brigadas de aseo:** Se ha detectado por inspección en conjunto con el personal del departamento de calidad condiciones de aseo que conllevan a fallos, un ejemplo de ello es la obstrucción de giro en los rodamientos por exceso de broque (tiras de papel más polvillo) esto en gran medida es dado por condiciones hostiles de trabajo en áreas cerradas. Al personal de mantenimiento la recomendación es incluir en sus rutinas de mantenimiento jornadas de aseo y limpieza de las áreas de trabajo.

AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO

- **Periódicas capacitaciones:** se ha encontrado por parte del personal supervisor que un porcentaje alto de los fallos que se presentan en el área de conversión son dados por la inexperiencia del personal, esto se refleja en los fallos relacionados por mala operación. La recomendación va enfocada a que el operario tenga la autonomía de enfrentarse y solucionar problemas sin necesidad de implicar paro en maquina o daño del elemento. Ello se logra mediante herramientas como videos paso a paso donde se muestre como resolver un problema común de forma práctica, mediante capacitaciones, con ellas el personal ganara experiencia en la teoría de cómo se debe o no manipular determinada parte o sistema buscando su máxima eficiencia sin colocar en riesgo la operación
- **Herramientas de trabajo apropiadas:** Un indicador que ayuda a obtener un trabajo eficiente son los recursos con los que se dispone. Es lógico asegurar que un operario que cuente con una buena herramienta y que además la use de manera adecuada puede hacer que los tiempos de intervención disminuyan, esto, porque se ha observado en el almacén de herramientas, elementos de muy mala calidad. La recomendación para el

personal operario es cuidar y reportar las herramientas de forma tal que se garantice un buen uso del elemento y por lo tanto un trabajo más seguro para el operario.

A LAS DIRECTIVAS

- **Baja rotación de personal:** Con un personal debidamente entrenado y bajo condiciones laborales estables presentara mayor eficiencia a la hora de realizar su trabajo. Ganando con ello experiencia a la hora de resolver problemas y mayor capacidad de análisis, por lo tanto la recomendación a las directivas es mantener niveles altos de empleados fijos.
- **Garantizar recursos:** Herramientas que permitan mejorar la condición de vida y laboral de los empleados, dispensadores de agua en la sección de conversión, computadores disponibles para consulta, y demás elementos que permitan hacer más ameno el entorno laboral, logrando con ello mejora en la producción.
- **Inversión en capacitaciones periódicas:** Invertir en especialistas enfocados en diferentes temas que permitan tanto al personal de planta como de mantenimiento educarse en temas específicos que ayuden a disminuir las condiciones fallos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Vila B. Karla, "Optimización de la función de distribución tina de baño", Tesis requisito parcial para obtener el título en Licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de las Américas, Puebla, México, 2003, [en línea] Disponible: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/vila_b_k/
- [2] Montgomery D, Runger G "Applied Statistics and probability for engineers" John Wiley & Sons Inc. 2003
- [3] Zapata C.J "Confiabilidad de sistemas eléctricos" Pereira 2005 Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnología Eléctrica.
- [4] Salvador F, M y Gargallo, P. (2003): "Análisis Exploratorio de Datos", [en línea] Disponible: <http://www.5campus.com/leccion/aed>
- [5] Pérez L. Cesar, "Técnicas de Análisis Multivariante de Datos" Editorial Pearson Prentice Hall
- [6] G. S. Gustavo, D. Á. Sonia, de la Rosa Josep, "Preprocesamiento de bases de datos masivas y multi-dimensionales en minería de uso web para modelar usuarios: comparación de herramientas y técnicas con un caso de estudio", Actas del III Taller Nacional de Minería de Datos y Aprendizaje, TAMIDA2005, pp.193-202 [en línea] Disponible: http://eia.udg.es/~gustavog/esp/publicaciones/cedi2005_gustavo_sonia_published.pdf
- [7] P. L. Clemens, "Fault Tree Analysis", Cuarta Edición, Sverdrup, 1993, [en línea], Disponible: <http://www.ing.unp.edu.ar/wicc2007/trabajos/ISBD/111.pdf>
- [8] Departamento de Matemáticas, Universidad de la Coruña, Agosto 2007 http://www.udc.es/dep/mate/estadistica2/sec4_6.html

[9] Cortizo J, "Preprocesamiento de Datos" Universidad Europea de Madrid [en línea], Disponible en: <http://svo.laeff.inta.es/Uploads/svo/svo-datamining/preprocesado.pdf>

[10] Crow K "Failure Modes and Effects Analysis", [en línea], Disponible: <http://www.npd-solutions.com/fmea.html>

[11] Unamuno M, "Análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA)", Salamanca 2004 Universidad de Salamanca [en línea] Disponible: <http://cidta.usal.es/calidad/documentos/bloque1/4Analisis%20de%20Modos%20y%20Efectos%20de%20Fall os.pdf>

[12] Clifton A "Fault Tree Analysis- A History" Presentado en la 17 Conferencia internacional de confiabilidad 1999, [en línea], Disponible: <http://www.fault-tree.net/papers/ericson-fta-history.pdf>

[13] Ericson A, Clifton LI, "Fault tree Analysis" [en línea], Disponible: <http://www.fault-tree.net/papers/ericson-fta-tutorial.pdf>

[14] Montgomery D, Runger G "Applied Statistics and Probability for Engineers", John Wiley & Sons Inc. 2003

[15] Yang G "Life Cycle Reliability Engineering" John Wiley & Sons Inc. 2007

[16] Rincon L.A "Manual de Estadística y Probabilidad para Computación", México DF, 2003 Departamento de Matemáticas. UNAM

[17] Zapata C.J "Confiabilidad de Sistemas Eléctricos", Pereira 2005 Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Tecnología Eléctrica.

[18] Meeker W Q, Escobar L A, "Statistical Methods for Reliability Data Using SAS Software", 1997

[19] Peyton Z P, "Probability, Random Variables, and Random Principles". McGraw-Hill 1987 Second Edition

[20] García González Javier “Mejora en la Confiabilidad Operacional de las Plantas de Generación de Energía Eléctrica: Desarrollo de una Metodología de Gestión de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)”. Madrid, 2004. Tesis de Maestría en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico. Universidad Pontificia Comillas.

[21] IEEE “Power System Reliability Evaluation”, tutorial course 82 EHO 195-8-PWR, IEEE, 1982

[22] Grall A, Dieulle L, Berenger C, Roussignol M, “Continuous-Time Predictive-Maintenance Scheduling for a Deteriorating System”, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 51, No. 2, June 2002.

[23] A. Berbar. “El Análisis de Fallas con Diagramas de Árbol”. Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas, [en línea] Disponible: www.tdi.state.tx.us.

[24] T. Piqué, A. Lapeña. “Análisis Probabilístico de Riesgos: Metodología del Árbol de Fallos y Errores”. Ed Limusa. 2001.

[25] Nachlas J.A. “Fiabilidad”. Isdefe. 1995, Primera edición.

[26] Elizabeth Madrigal Landeros “Estimación e Inferencia de los Parámetros de la Distribución Hockey Stick”. México, 2004. Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Industrial. Universidad de las Américas Puebla.

[27] Carlos M. Torres Ortolaza “Risk Assessment of an Electric Power System using Intelligent Power Routers”. Puerto Rico, 2005. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Universidad de Mayagüez.

[28] Mallor F, Santos J “fiabilidad de sistemas”, [en línea] Disponible: <http://www.unavarra.es/estadistica/LADE/M.O.C./Tema4.PDF>

[29] Yang Guangbin “Life Cycle Reliability Engineering” Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2007

[30] Piqué, T., “NTP 333 “Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del árbol de fallos y errores”” INSHT, Barcelona 1994.

[31] Martínez A Rosalva, Rodríguez S José. “Análisis de Árbol de Fallas del Sistema de una Llave para Agua”, Revista Ingeniería Industrial – ITC, México Enero - Junio 2007, Año 2 No. 2

RESULTADOS

Se realizó la recopilación de las técnicas de preprocesamiento de datos, empleándolas a la base de datos de la empresa papelera.

Se determinaron los modelos de la conformadora de rollos, las tasas de fallas y las funciones de confiabilidad.

Se determinaron las ventajas y desventajas de la técnica de modos de fallo usando las metodologías de diagramas de bloque, FMEA y árbol de fallos.

Se determinaron los modos de falla del proceso y se recomendaron acciones correctivas.

ANEXOS

A.1 BASE DE DATOS INICIAL

A modo de ejemplo se mostrara una fracción de la base de datos después de ser separada por bloques operativos y eliminarle los datos correspondientes a los outliers tipo1, para el elemento sistema esmeril del bloque operativo Cortadora se tienen los siguientes datos:

CORTADORA Sistema Esmeril														
Inicio evento						Fin evento						tiempo falla DIAS	tiempo reparación HORAS	DESCRIPCION DE LA CAUSA
Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg			
2007	1	10	14	2	0	2007	1	10	14	32	0	0	0,50	CORTADORA mal corte
2007	1	30	8	1	0	2007	1	30	8	16	0	20	0,25	CORTADORA mal corte
2007	3	16	14	6	0	2007	3	16	16	26	0	45	2,33	CORTADORA: MAL CORTE
2007	3	18	7	10	0	2007	3	18	7	30	0	2	0,33	CORTADORA: MAL CORTE
2007	4	19	18	5	0	2007	4	19	18	25	0	1	0,33	CORTADORA mal corte
2007	4	4	23	10	0	2007	4	4	23	30	0	16	0,33	CORTADORA mal corte
2007	4	7	1	20	0	2007	4	7	3	0	0	3	1,67	CORTADORA mal corte
2007	4	28	15	25	0	2007	4	28	15	40	0	21	0,25	CORTADORA mal corte
2007	4	29	10	0	0	2007	4	29	10	25	0	1	0,42	CORTADORA mal corte
2007	5	2	12	10	0	2007	5	2	13	10	0	3	1,00	CORTADORA mal corte
2007	5	8	17	0	0	2007	5	8	17	25	0	6	0,42	CORTADORA mal corte
2007	5	9	9	20	0	2007	5	9	12	20	0	1	3,00	CORTADORA mal corte
2007	5	29	14	10	0	2007	5	29	15	30	0	20	1,33	CORTADORA: MAL CORTE
2007	6	25	18	5	0	2007	6	25	18	25	0	27	0,33	CORTADORA: MAL CORTE
2007	6	26	23	10	0	2007	6	26	23	30	0	1	0,33	CORTADORA: MAL CORTE
2007	6	28	8	10	0	2007	6	28	10	50	0	2	2,67	CORTADORA: MAL CORTE
2007	7	4	12	12	0	2007	7	4	12	42	0	6	0,50	CORTADORA: MAL CORTE
2007	7	5	10	20	0	2007	7	5	10	50	0	1	0,50	CORTADORA: MAL CORTE
2007	7	8	17	10	0	2007	7	8	17	35	0	3	0,42	CORTADORA: MAL CORTE
2007	7	10	16	10	0	2007	7	10	17	35	0	2	1,42	CORTADORA: MAL CORTE
2007	7	11	9	10	0	2007	7	11	9	35	0	1	0,42	CORTADORA: MAL CORTE
2007	8	18	18	20	0	2007	8	18	18	45	0	38	0,42	CORTADORA: MAL CORTE
2007	8	31	19	20	0	2007	8	31	19	45	0	13	0,42	CORTADORA: MAL CORTE

2007	9	13	23	15	0	2007	9	13	23	40	0	13	0,42	CORTADORA: MAL CORTE
2007	9	20	1	10	0	2007	9	20	1	35	0	7	0,42	CORTADORA: MAL CORTE
2007	10	4	5	20	0	2007	10	4	5	50	0	14	0,50	CORTADORA mal corte
2007	10	22	15	20	0	2007	10	22	15	50	0	18	0,50	CORTADORA mal corte
2007	10	27	14	10	0	2007	10	27	14	40	0	5	0,50	CORTADORA mal corte
2007	10	31	17	0	0	2007	10	31	17	35	0	4	0,58	CORTADORA: MAL CORTE
2007	11	1	11	20	0	2007	11	1	11	50	0	1	0,50	CORTADORA: MAL CORTE
2007	11	7	13	15	0	2007	11	7	13	45	0	6	0,50	CORTADORA: MAL CORTE
2007	11	16	16	7	0	2007	11	16	16	27	0	9	0,33	CORTADORA: MAL CORTE
2007	11	18	18	10	0	2007	11	18	20	35	0	2	2,42	CORTADORA problemas de corte
2007	11	19	15	0	0	2007	11	19	15	25	0	1	0,42	CORTADORA mal corte
2007	11	23	17	5	0	2007	11	23	17	55	0	4	0,83	CORTADORA mal corte
2007	11	24	9	10	0	2007	11	24	11	10	0	1	2,00	CORTADORA mal corte
2007	11	25	6	10	0	2007	11	25	6	30	0	1	0,33	CORTADORA problemas de corte
2007	12	5	17	40	0	2007	12	5	18	0	0	10	0,33	CORTADORA mal corte
2007	12	22	7	14	0	2007	12	22	7	34	0	17	0,33	CORTADORA mal corte
2008	1	5	8	4	0	2008	1	5	8	54	0	14	0,83	CORTADORA mal corte
2007	1	9	9	36	0	2007	1	9	10	6	0	4	0,50	CORTADORA mal corte
2007	1	14	11	40	0	2007	1	14	12	10	0	3	0,50	CORTADORA problemas de mal corte
2007	1	27	10	0	0	2007	1	27	10	30	0	6	0,50	CORTADORA mal corte
2007	2	5	15	0	0	2007	2	5	16	25	0	5	1,42	CORTADORA mal corte
2007	2	16	17	5	0	2007	2	16	17	30	0	6	0,42	CORTADORA mal corte
2007	3	2	9	10	0	2007	3	2	9	40	0	12	0,50	CORTADORA mal corte
2007	3	3	17	0	0	2007	3	3	17	50	0	1	0,83	CORTADORA mal corte
2007	3	7	16	7	0	2007	3	7	16	42	0	3	0,58	CORTADORA mal corte
2007	3	11	18	10	0	2007	3	11	18	40	0	3	0,50	CORTADORA mal corte
2007	3	12	15	0	0	2007	3	12	15	40	0	1	0,67	CORTADORA mal corte

En la tabla anterior se aprecian dos términos resaltados con amarillo, estos corresponden a los outliers tipo 2 los cuales fueron eliminados de la base de datos por el software datafit.m

A.2 BASE DE DATOS PARA EL ANALISIS

PERFORADORA

ELEMENTO	Inicio evento						Fin evento					
	Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg
Sistema de moletas	2007	7	10	11	10	0	2007	7	10	13	31	0
	2007	7	12	8	15	0	2007	7	12	12	35	0
	2007	10	13	9	15	0	2007	10	13	9	45	0
	2007	11	21	18	45	0	2007	11	21	19	45	0
	2007	12	3	8	45	0	2007	12	3	9	20	0
	2008	1	8	13	10	0	2008	1	8	16	50	0
	2008	1	14	15	20	0	2008	1	14	21	50	0
Cuchilla descoladora	2007	10	18	17	20	0	2007	10	18	18	0	0
	2007	11	22	8	30	0	2007	11	22	9	5	0
	2007	12	1	13	10	0	2007	12	1	13	25	0
	2007	12	9	10	45	0	2007	12	9	14	15	0
	2008	2	23	22	55	0	2008	2	23	23	55	0
	2008	2	25	5	0	0	2008	2	25	6	30	0
Rodajas	2007	11	13	14	10	0	2007	11	13	14	40	0
	2007	12	29	18	40	0	2007	12	29	18	55	0
	2008	1	24	6	45	0	2008	1	24	7	35	0
Banda del jinetillo	2007	10	9	12	40	0	2007	10	9	13	25	0
	2007	11	11	6	15	0	2007	11	11	7	25	0
	2007	12	16	9	15	0	2007	12	16	9	55	0
	2008	1	3	6	0	0	2008	1	3	6	10	0
	2008	1	9	20	45	0	2008	1	9	21	30	0
	2008	1	26	21	20	0	2008	1	26	22	5	0
	2008	1	27	3	20	0	2008	1	27	3	55	0
	2008	2	1	7	20	0	2008	2	1	7	50	0
	2008	2	26	8	15	0	2008	2	26	8	25	0
Acumulador	2007	10	16	10	5	0	2007	10	16	11	15	0
	2007	11	22	8	30	0	2007	11	22	9	5	0
	2007	12	19	6	40	0	2007	12	19	10	60	0
	2007	12	20	7	30	0	2007	12	20	7	55	0
	2008	1	25	16	40	0	2008	1	25	18	0	0
	2008	2	8	2	10	0	2008	2	8	2	30	0
Gofrador	2007	11	21	18	45	0	2007	11	21	19	45	0
	2007	12	21	3	20	0	2007	12	21	9	40	0
	2008	3	5	4	40	0	2008	3	5	10	10	0
	2008	3	9	15	35	0	2008	3	9	17	55	0

Sistema de transferencia	2007	11	17	21	25	0	2007	11	17	22	5	0
	2007	11	20	14	5	0	2007	11	20	15	40	0
	2008	1	28	9	10	0	2008	1	28	9	25	0

CORTADORA

ELEMENTO	Inicio evento						Fin evento					
	Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg
Sistema esmeril	2007	1	10	14	2	0	2007	1	10	14	32	0
	2007	1	30	8	1	0	2007	1	30	8	16	0
	2007	3	16	14	6	0	2007	3	16	16	26	0
	2007	3	18	7	10	0	2007	3	18	7	30	0
	2007	4	19	18	5	0	2007	4	19	18	25	0
	2007	4	4	23	10	0	2007	4	4	23	30	0
	2007	4	7	1	20	0	2007	4	7	3	0	0
	2007	4	28	15	25	0	2007	4	28	15	40	0
	2007	4	29	10	0	0	2007	4	29	10	25	0
	2007	5	2	12	10	0	2007	5	2	13	10	0
	2007	5	8	17	0	0	2007	5	8	17	25	0
	2007	5	9	9	20	0	2007	5	9	12	20	0
	2007	5	29	14	10	0	2007	5	29	15	30	0
	2007	6	25	18	5	0	2007	6	25	18	25	0
	2007	6	26	23	10	0	2007	6	26	23	30	0
	2007	6	28	8	10	0	2007	6	28	10	50	0
	2007	7	4	12	12	0	2007	7	4	12	42	0
	2007	7	5	10	20	0	2007	7	5	10	50	0
	2007	7	8	17	10	0	2007	7	8	17	35	0
	2007	7	10	16	10	0	2007	7	10	17	35	0
	2007	7	11	9	10	0	2007	7	11	9	35	0
	2007	8	18	18	20	0	2007	8	18	18	45	0
	2007	8	31	19	20	0	2007	8	31	19	45	0
	2007	9	13	23	15	0	2007	9	13	23	40	0
	2007	9	20	1	10	0	2007	9	20	1	35	0
	2007	10	4	5	20	0	2007	10	4	5	50	0
	2007	10	22	15	20	0	2007	10	22	15	50	0
	2007	10	27	14	10	0	2007	10	27	14	40	0
	2007	10	31	17	0	0	2007	10	31	17	35	0
	2007	11	1	11	20	0	2007	11	1	11	50	0
	2007	11	7	13	15	0	2007	11	7	13	45	0
	2007	11	16	16	7	0	2007	11	16	16	27	0
2007	11	18	18	10	0	2007	11	18	20	35	0	

	2007	11	19	15	0	0	2007	11	19	15	25	0
	2007	11	23	17	5	0	2007	11	23	17	55	0
	2007	11	24	9	10	0	2007	11	24	11	10	0
	2007	11	25	6	10	0	2007	11	25	6	30	0
	2007	12	5	17	40	0	2007	12	5	18	0	0
	2007	12	22	7	14	0	2007	12	22	7	34	0
	2008	1	5	8	4	0	2008	1	5	8	54	0
	2007	1	9	9	36	0	2007	1	9	10	6	0
	2007	1	14	11	40	0	2007	1	14	12	10	0
	2007	1	27	10	0	0	2007	1	27	10	30	0
	2007	2	5	15	0	0	2007	2	5	16	25	0
	2007	2	16	17	5	0	2007	2	16	17	30	0
	2007	3	2	9	10	0	2007	3	2	9	40	0
	2007	3	3	17	0	0	2007	3	3	17	50	0
	2007	3	7	16	7	0	2007	3	7	16	42	0
	2007	3	11	18	10	0	2007	3	11	18	40	0
	2007	3	12	15	0	0	2007	3	12	15	40	0
	2007	2	9	17	5	0	2007	2	9	17	15	0
	2007	2	14	9	10	0	2007	2	14	9	20	0
	2007	2	15	17	0	0	2007	2	15	17	10	0
	2007	5	10	16	7	0	2007	5	10	20	7	0
	2007	1	16	8	0	0	2007	1	16	9	25	0
	2007	2	13	8	1	0	2007	2	13	8	31	0
	2007	2	28	9	20	0	2007	2	28	10	45	0
	2007	4	7	10	0	0	2007	4	7	11	40	0
	2007	6	18	15	10	0	2007	6	18	16	10	0
	2007	6	28	20	5	0	2007	6	28	22	45	0
	2007	7	29	1	20	0	2007	7	29	2	20	0
	2007	8	27	6	30	0	2007	8	27	7	45	0
	2007	9	21	0	10	0	2007	9	21	1	25	0
	2007	12	8	7	20	0	2007	12	8	8	20	0
	2008	2	1	17	0	0	2008	2	1	18	0	0
	2008	2	2	15	40	0	2008	2	2	18	20	0
	2008	2	24	14	10	0	2008	2	24	15	10	0
	2007	2	28	8	0	0	2007	2	28	9	25	0
	2007	4	12	8	1	0	2007	4	12	9	1	0
	2007	5	10	9	20	0	2007	5	10	13	20	0
	2007	8	27	10	0	0	2007	8	27	11	15	0
	2007	12	19	15	10	0	2007	12	19	16	30	0
	2007	2	4	9	20	0	2007	2	4	14	15	0
	2007	5	22	10	0	0	2007	5	22	15	0	0
	2007	10	10	12	10	0	2007	10	10	12	25	0

2007	11	11	14	6	0	2007	11	11	15	36	0
2008	1	10	18	30	0	2008	1	10	18	50	0
2008	2	3	23	0	0	2008	2	3	23	15	0
2008	3	9	15	10	0	2008	3	9	16	30	0
2008	3	17	9	10	0	2008	3	17	12	45	0

OMEGA 3

ELEMENTO	Inicio evento						Fin evento					
	Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg
Banda alimentación rollo	2007	1	11	8	0	0	2007	1	11	13	30	0
	2007	1	12	1	10	0	2007	1	12	18	45	0
	2007	1	13	15	0	0	2007	1	14	8	10	0
	2007	1	14	7	10	0	2007	1	14	11	5	0
	2007	1	17	14	0	0	2007	1	17	21	35	0
	2007	1	20	21	15	0	2007	1	20	23	30	0
	2007	1	22	1	20	0	2007	1	22	2	10	0
	2007	1	23	15	25	0	2007	1	23	18	25	0
	2007	1	24	8	20	0	2007	1	24	13	57	0
	2007	1	25	12	10	0	2007	1	25	13	10	0
	2007	1	29	17	0	0	2007	1	29	18	0	0
	2007	1	30	17	10	0	2007	1	30	18	25	0
	2007	3	25	9	10	0	2007	3	25	13	35	0
	2007	3	26	2	20	0	2007	3	26	5	60	0
	2007	3	27	10	30	0	2007	3	27	18	30	0
	2007	3	28	8	10	0	2007	3	28	11	15	0
	2007	3	29	19	20	0	2007	3	29	21	30	0
	2007	4	9	20	15	0	2007	4	10	4	40	0
	2007	4	10	14	40	0	2007	4	10	17	5	0
	2007	4	11	12	30	0	2007	4	11	18	10	0
	2007	4	12	15	20	0	2007	4	13	4	60	0
	2007	4	20	9	25	0	2007	4	20	10	55	0
	2007	4	21	14	30	0	2007	4	21	18	35	0
	2007	4	22	9	10	0	2007	4	22	14	50	0
	2007	4	27	4	0	0	2007	4	27	10	40	0
	2007	5	2	11	20	0	2007	5	2	13	15	0
	2007	5	11	18	10	0	2007	5	11	19	50	0
	2007	5	13	7	15	0	2007	5	13	9	30	0
	2007	5	16	2	20	0	2007	5	16	6	30	0
	2007	5	17	5	10	0	2007	5	17	15	35	0
2007	5	18	17	30	0	2007	5	19	1	50	0	

2007	5	19	10	0	0	2007	5	19	18	56	0
2007	5	20	14	0	0	2007	5	20	23	55	0
2007	5	23	7	10	0	2007	5	23	11	35	0
2007	5	24	17	5	0	2007	5	24	18	55	0
2007	5	28	14	10	0	2007	5	28	16	50	0
2007	5	29	11	30	0	2007	5	29	12	50	0
2007	5	30	9	20	0	2007	5	30	10	5	0
2007	5	31	19	20	0	2007	5	31	23	26	0
2008	6	1	8	40	0	2008	6	1	9	50	0
2007	6	2	10	20	0	2007	6	2	15	20	0
2007	6	3	15	30	0	2007	6	3	23	15	0
2007	6	4	5	20	0	2007	6	4	10	40	0
2007	6	9	14	20	0	2007	6	9	16	20	0
2007	6	10	8	10	0	2007	6	10	8	50	0
2007	6	11	10	20	0	2007	6	11	12	0	0
2007	6	12	18	45	0	2007	6	13	0	35	0
2007	6	13	4	50	0	2007	6	13	8	20	0
2007	6	14	7	40	0	2007	6	14	8	56	0
2007	6	15	1	0	0	2007	6	15	3	25	0
2007	6	16	15	50	0	2007	6	16	18	23	0
2007	6	24	7	40	0	2007	6	24	8	55	0
2007	7	1	6	10	0	2007	7	1	7	10	0
2007	7	5	4	20	0	2007	7	5	6	30	0
2007	7	7	10	0	0	2007	7	7	13	40	0
2007	7	8	9	40	0	2007	7	8	12	0	0
2007	7	9	18	40	0	2007	7	9	21	0	0
2007	7	16	6	41	0	2007	7	16	10	21	0
2007	7	17	19	0	0	2007	7	17	20	45	0
2007	7	19	3	50	0	2007	7	19	6	32	0
2007	7	21	7	6	0	2007	7	21	9	21	0
2007	7	22	14	0	0	2007	7	22	18	40	0
2007	8	1	12	0	0	2007	8	1	13	20	0
2007	8	2	11	50	0	2007	8	2	12	50	0
2007	8	15	0	50	0	2007	8	15	3	20	0
2007	8	30	8	10	0	2007	8	30	20	40	0
2007	8	31	19	10	0	2007	8	31	22	0	0
2007	9	1	1	45	0	2007	9	1	4	5	0
2007	9	2	17	10	0	2007	9	2	20	32	0
2007	9	3	15	0	0	2007	9	3	16	30	0
2007	9	4	1	0	0	2007	9	4	3	0	0
2007	9	5	16	20	0	2007	9	5	18	35	0
2007	9	6	20	0	0	2007	9	6	21	45	0

	2007	9	7	3	15	0	2007	9	7	4	45	0
	2007	9	9	19	50	0	2007	9	9	20	40	0
	2007	12	18	17	0	0	2007	12	19	0	50	0
	2008	1	6	15	0	0	2008	1	6	17	40	0
	2008	1	7	5	0	0	2008	1	7	6	40	0
	2008	1	14	19	20	0	2008	1	14	21	50	0
	2008	1	16	1	10	0	2008	1	16	6	30	0
Sistema de Pinzas	2007	2	20	14	0	0	2007	2	20	16	50	0
	2007	2	21	10	0	0	2007	2	21	11	15	0
	2007	2	23	8	50	0	2007	2	23	12	15	0
	2007	2	24	9	0	0	2007	2	24	10	50	0
	2007	2	25	12	20	0	2007	2	25	14	40	0
	2007	4	13	5	30	0	2007	4	13	11	30	0
	2007	4	23	14	8	0	2007	4	23	16	58	0
	2007	5	10	8	30	0	2007	5	10	12	50	0
	2007	5	17	5	10	0	2007	5	17	15	35	0
	2007	5	22	7	40	0	2007	5	22	11	50	0
	2007	5	23	7	10	0	2007	5	23	11	35	0
	2007	6	25	9	20	0	2007	6	25	11	5	0
	2007	6	29	6	40	0	2007	6	29	7	10	0
	2007	7	3	10	0	0	2007	7	3	12	35	0
	2007	7	25	19	0	0	2007	7	26	1	25	0
	2007	7	26	7	10	0	2007	7	26	8	45	0
	2008	7	27	9	40	0	2008	7	27	11	30	0
	2007	7	28	12	20	0	2007	7	28	13	55	0
	2007	7	29	10	0	0	2007	7	29	11	15	0
	2007	7	30	12	50	0	2007	7	30	20	18	0
	2007	9	1	1	45	0	2007	9	1	4	5	0
	2007	9	2	17	10	0	2007	9	2	20	32	0
	2007	9	3	15	0	0	2007	9	3	16	30	0
	2007	9	4	1	0	0	2007	9	4	3	0	0
	2007	9	5	16	20	0	2007	9	5	18	35	0
	2007	9	6	20	0	0	2007	9	6	21	45	0
	2007	9	7	3	15	0	2007	9	7	4	45	0
	2007	9	9	19	50	0	2007	9	9	20	40	0
	2007	9	11	14	10	0	2007	9	11	14	50	0
	2007	9	19	13	50	0	2007	9	19	16	20	0
	2007	12	25	7	40	0	2007	12	25	10	30	0
	2008	1	19	16	45	0	2008	1	19	23	0	0
	Embutidores	2007	1	16	16	20	0	2007	1	16	19	40
2007		3	5	20	0	0	2007	3	5	22	0	0
2007		4	18	3	15	0	2007	4	18	9	25	0

	2007	4	19	17	50	0	2007	4	19	19	27	0
	2007	7	3	14	10	0	2007	7	3	16	45	0
	2007	7	5	13	50	0	2007	7	5	15	60	0
	2008	12	18	7	40	0	2008	12	18	15	30	0
Sistema de vacio	2007	1	11	12	20	0	2007	1	11	17	50	0
	2007	1	12	5	30	0	2007	1	12	23	5	0
	2007	1	13	2	18	0	2007	1	13	19	28	0
	2007	1	14	10	30	0	2007	1	14	14	25	0
	2007	1	15	5	10	0	2007	1	15	8	45	0
	2007	1	17	9	40	0	2007	1	17	17	15	0
	2007	1	20	7	20	0	2007	1	20	9	35	0
	2007	1	22	14	20	0	2007	1	22	15	10	0
	2007	1	23	6	40	0	2007	1	23	9	40	0
	2007	5	23	10	0	0	2007	5	23	14	25	0
	2007	6	3	12	0	0	2007	6	3	19	45	0
Expulsor de Rollo	2007	4	19	10	0	0	2007	4	19	11	37	0
	2007	4	27	8	50	0	2007	4	27	15	30	0
	2007	5	1	9	0	0	2007	5	1	12	0	0
	2007	5	2	12	20	0	2007	5	2	14	15	0
	2007	5	10	5	30	0	2007	5	10	9	50	0
	2007	5	16	14	8	0	2007	5	16	18	18	0
	2007	6	13	8	30	0	2007	6	13	12	0	0
	2007	6	25	12	20	0	2007	6	25	14	5	0
	2007	12	12	7	40	0	2007	12	12	10	10	0
	2007	12	26	17	10	0	2007	12	26	19	40	0
2008	1	6	12	50		2008	1	6	15	30	0	
Sellador base	2007	1	11	8	1	0	2007	1	11	13	31	0
	2007	1	12	2	6	0	2007	1	12	19	41	0
	2007	1	13	5	10	0	2007	1	13	22	20	0
	2007	1	14	18	5	0	2007	1	14	21	60	0
	2007	1	20	12	10	0	2007	1	20	14	25	0
	2007	3	27	1	20	0	2007	3	27	9	20	0
	2007	3	28	15	25	0	2007	3	28	18	30	0
	2007	4	12	10	0	0	2007	4	12	23	40	0
	2007	6	30	12	10	0	2007	6	30	12	30	0
	2007	7	24	17	0	0	2007	7	24	21	30	0
	2007	11	2	9	20	0	2007	11	2	11	55	0
	2007	11	3	14	10	0	2007	11	3	15	40	0
2007	11	5	18	5	0	2007	11	5	19	45	0	
Sistema Corte de Lámina	2007	1	11	17	10	0	2007	1	11	22	40	0
	2007	1	12	2	10	0	2007	1	12	19	45	0
	2007	1	13	2	12	0	2007	1	13	19	22	0

	2007	1	14	10	20	0	2007	1	14	14	15	0
	2007	1	15	17	10	0	2007	1	15	20	45	0
	2007	1	20	16	10	0	2007	1	20	18	25	0
	2007	4	9	9	10	0	2007	4	9	17	35	0
	2007	4	10	18	20	0	2007	4	10	20	45	0
	2007	4	11	15	20	0	2007	4	11	21	0	0
	2007	4	12	8	15	0	2007	4	12	21	55	0
	2007	5	28	1	10	0	2007	5	28	3	50	0
	2007	6	14	5	20	0	2007	6	14	6	36	0
	2007	7	3	15	20	0	2007	7	3	17	55	0
	2007	10	8	14	10	0	2007	10	8	18	45	0
	2008	1	19	17	0	0	2008	1	19	23	15	0
Seguidor de Leva y Tornillo Graduación	2007	1	16	12	10	0	2007	1	16	15	30	0
	2007	1	19	17	0	0	2007	1	19	19	30	0
	2007	1	24	9	20	0	2007	1	24	14	57	0
	2007	2	13	14	10	0	2007	2	13	15	35	0
	2007	2	20	18	5	0	2007	2	20	20	55	0
	2007	2	21	23	10	0	2007	2	21	24	25	0
	2007	2	23	8	10	0	2007	2	23	11	35	0
	2007	2	24	12	12	0	2007	2	24	14	2	0
	2007	2	25	10	20	0	2007	2	25	12	40	0
	2007	3	5	17	10	0	2007	3	5	19	10	0
	2007	4	12	8	10	0	2007	4	12	21	50	0
	2007	4	23	9	10	0	2007	4	23	12	0	0
	2007	4	27	15	20	0	2007	4	27	22	0	0
	2007	5	3	19	20	0	2007	5	3	23	30	0
	2007	5	6	20	15	0	2007	5	6	23	20	0
	2007	5	12	1	10	0	2007	5	12	5	15	0
	2007	5	14	5	20	0	2007	5	14	9	25	0
	2007	5	17	10	20	0	2007	5	17	20	45	0
	2007	5	18	14	10	0	2007	5	18	22	30	0
	2007	5	19	15	0	0	2007	5	19	23	56	0
	2007	5	20	11	20	0	2007	5	20	21	15	0
	2007	5	22	13	15	0	2007	5	22	17	25	0
	2007	5	25	16	7	0	2007	5	25	20	17	0
	2007	5	28	18	10	0	2007	5	28	20	50	0
	2007	6	25	15	0	0	2007	6	25	16	45	0
	2007	6	26	17	5	0	2007	6	26	18	25	0
	2007	9	19	9	10	0	2007	9	19	11	40	0
Sistema Succión Bandas de los Tacos	2007	2	2	15	20	0	2007	2	2	23	10	0
	2007	4	6	15	15	0	2007	4	6	20	20	0
	2007	4	13	1	10	0	2007	4	13	7	10	0

2007	5	4	5	20	0	2007	5	4	8	25	0
2007	5	6	10	20	0	2007	5	6	13	25	0
2007	5	12	14	10	0	2007	5	12	18	15	0
2007	5	18	15	0	0	2007	5	18	23	20	0
2007	5	19	11	20	0	2007	5	19	20	16	0
2007	5	20	13	15	0	2007	5	20	23	10	0
2007	6	29	16	7	0	2007	6	29	16	37	0

MW 30

ELEMENTO	Inicio evento						Fin evento					
	Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg
Sellador base	2007	2	23	14	5	0	2007	2	23	15	55	0
	2007	2	24	10	35	0	2007	2	24	12	25	0
	2007	4	2	1	30	0	2007	4	2	5	5	0
	2007	4	3	20	0	0	2007	4	3	23	44	0
	2007	6	20	5	15	0	2007	6	20	6	25	0
	2007	7	13	16	50	0	2007	7	13	17	35	0
	2007	7	18	18	5	0	2007	7	18	18	35	0
Banda Transporte de Lámina	2007	2	23	14	5	0	2007	2	23	15	55	0
	2007	2	24	10	35	0	2007	2	24	12	25	0
	2007	2	27	14	20	0	2007	2	27	23	10	0
	2007	3	12	16	10	0	2007	3	12	23	33	0
	2007	3	13	4	10	0	2007	3	13	7	45	0
	2007	3	14	8	15	0	2007	3	14	11	40	0
	2007	3	16	13	55	0	2007	3	16	15	55	0
	2007	3	17	12	20	0	2007	3	17	14	40	0
	2007	3	21	17	15	0	2007	3	21	19	35	0
	2007	3	23	1	50	0	2007	3	23	14	35	0
	2007	3	24	19	35	0	2007	3	24	21	32	0
	2007	4	2	1	30	0	2007	4	2	5	5	0
Sistema cuchilla corte lámina	2007	4	3	20	0	0	2007	4	3	23	44	0
	2007	6	20	5	15	0	2007	6	20	6	25	0
	2007	7	11	9	40	0	2007	7	11	13	45	0
	2007	7	16	13	55	0	2007	7	16	23	45	0
	2007	4	2	1	30	0	2007	4	2	5	5	0
Banda Doble Dentada 25 t5 x1930	2007	2	27	14	20	0	2007	2	27	23	10	0
	2007	3	12	16	10	0	2007	3	12	23	33	0
	2007	3	13	4	10	0	2007	3	13	7	45	0

	2007	3	14	8	15	0	2007	3	14	11	40	0
	2007	3	17	12	20	0	2007	3	17	14	40	0
	2007	3	21	17	15	0	2007	3	21	19	35	0
Sistema plegadores	2007	3	21	17	15	0	2007	3	21	19	35	0
	2007	3	23	1	50	0	2007	3	23	14	35	0
	2007	3	24	19	35	0	2007	3	24	21	32	0
	2007	6	20	5	15	0	2007	6	20	6	25	0
Banda dentada lanzador	2007	7	11	9	40	0	2007	7	11	13	45	0
	2007	7	12	11	20	0	2007	7	12	20	40	0
	2007	7	16	13	55	0	2007	7	16	23	45	0

PW 20

ELEMENTO	Inicio evento						Fin evento					
	Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg
Banda Transporte de Lámina	2007	1	6	10	10	0	2007	1	6	12	40	0
	2007	3	9	18	20	0	2007	3	9	19	35	0
	2007	3	10	20	10	0	2007	3	10	23	0	0
	2007	3	11	4	10	0	2007	3	11	5	50	0
	2007	3	20	12	20	0	2007	3	20	19	40	0
	2007	4	4	17	15	0	2007	4	4	22	0	0
	2007	4	5	20	5	0	2007	4	5	23	5	0
	2007	4	6	1	50	0	2007	4	6	3	50	0
	2007	4	13	16	10	0	2007	4	13	22	35	0
	2007	4	14	8	35	0	2007	4	14	22	30	0
	2007	4	15	1	25	0	2007	4	15	8	30	0
	2007	4	16	5	5	0	2007	4	16	12	20	0
	2007	5	7	20	10	0	2007	5	7	23	4	0
	2007	5	8	15	5	0	2007	5	8	17	40	0
	2007	5	9	16	55	0	2007	5	9	19	25	0
	2007	5	15	15	20	0	2007	5	15	18	15	0
	2007	5	26	9	45	0	2007	5	26	17	15	0
	2007	5	27	20	30	0	2007	5	27	22	48	0
	2007	6	6	13	45	0	2007	6	6	18	33	0
	2007	6	7	5	0	0	2007	6	7	9	25	0
	2007	6	8	11	10	0	2007	6	8	14	20	0
	2007	6	9	3	35	0	2007	6	9	6	35	0
	2007	6	17	9	20	0	2007	6	17	14	10	0
	2007	6	18	11	40	0	2007	6	18	15	40	0
	2007	6	19	19	40	0	2007	6	19	20	20	0
	2007	6	26	2	0	0	2007	6	26	3	0	0

	2007	8	6	7	50	0	2007	8	6	11	55	0
	2007	8	7	17	25	0	2007	8	7	19	55	0
	2007	8	8	8	35	0	2007	8	8	11	15	0
	2007	8	15	16	10	0	2007	8	15	18	50	0
	2007	8	16	5	30	0	2007	8	16	6	33	0
	2007	8	26	2	10	0	2007	8	26	3	60	0
	2007	9	8	8	20	0	2007	9	8	11	60	0
	2007	9	16	17	40	0	2007	9	16	18	50	0
Sistema plegadores	2007	3	9	18	20	0	2007	3	9	19	35	0
	2007	3	10	20	10	0	2007	3	10	23	0	0
	2007	3	11	4	10	0	2007	3	11	5	50	0
	2007	3	18	8	15	0	2007	3	18	10	35	0
	2007	3	19	13	55	0	2007	3	19	15	35	0
	2007	5	14	4	30	0	2007	5	14	6	10	0
	2007	5	15	15	20	0	2007	5	15	18	15	0
	2007	9	17	3	5	0	2007	9	17	5	25	0
Alimentador de Rollos	2007	3	6	7	30	0	2007	3	6	11	55	0
	2007	4	13	16	10	0	2007	4	13	22	35	0
	2007	4	14	8	35	0	2007	4	14	22	30	0
	2007	4	15	1	25	0	2007	4	15	8	30	0
	2007	4	16	5	5	0	2007	4	16	12	20	0
	2007	4	28	14	20	0	2007	4	28	17	30	0
	2007	4	29	19	25	0	2007	4	29	23	40	0
	2007	5	7	20	10	0	2007	5	7	23	4	0
	2007	5	8	15	5	0	2007	5	8	17	40	0
	2007	5	15	15	20	0	2007	5	15	18	15	0
	2007	5	26	9	45	0	2007	5	26	17	15	0
	2007	5	27	20	30	0	2007	5	27	22	48	0
Sistema de Corte	2007	3	18	8	15	0	2007	3	18	10	35	0
	2007	3	19	13	55	0	2007	3	19	15	35	0
	2007	4	28	14	20	0	2007	4	28	17	30	0
	2007	4	29	19	25	0	2007	4	29	23	40	0
	2007	5	7	20	10	0	2007	5	7	23	4	0
	2007	5	8	15	5	0	2007	5	8	17	40	0
	2007	5	9	16	55	0	2007	5	9	19	25	0
	2007	6	17	9	20	0	2007	6	17	14	10	0
	2007	6	18	11	40	0	2007	6	18	15	40	0
	2007	6	19	19	40	0	2007	6	19	20	20	0
	2007	10	26	8	0	0	2007	10	26	9	0	0
Sellador base	2007	4	28	14	20	0	2007	4	28	17	30	0
	2007	4	29	19	25	0	2007	4	29	23	40	0
	2007	6	30	3	10	0	2007	6	30	3	20	0

2007	8	5	15	40	0	2007	8	5	17	30	0
2007	8	6	7	50	0	2007	8	6	11	55	0
2007	8	7	17	25	0	2007	8	7	19	55	0
2007	8	8	8	35	0	2007	8	8	11	15	0
2007	8	15	16	10	0	2007	8	15	18	50	0
2007	8	26	2	10	0	2007	8	26	3	60	0
2007	9	8	8	20	0	2007	9	8	11	60	0

PW 30

ELEMENTO	Inicio evento						Fin evento					
	Año	mes	día	hora	min	seg	Año	mes	día	hora	min	seg
Banda transporte lámina	2007	4	25	10	10	0	2007	4	25	10	10	0
	2007	4	26	7	30	0	2007	4	26	7	30	0
	2007	4	30	14	5	0	2007	4	30	14	5	0
	2007	5	1	10	35	0	2007	5	1	10	35	0

A.3 FOTOS DE LA MAQUINA

PERFORADORA



ACUMULADOR



BANDA DEL JINETILLO



CUCHILLA DESCOLADORA



RODAJAS



SISTEMA DE MOLETAS



GOFRADOR



SISTEMA DE TRANSFERENCIA



CORTADORA



SISTEMA DE CUCHILLA



FRENO MOTOR PRINCIPAL



SISTEMA ESMERIL



ESMERIL



MOTOR PRINCIPAL



TORRES



BANDA TRANSPORTE SALIDA



OMEGA 3



BANDA ALIMENTACION DEL ROLLO



SISTEMA DE PINZAS



SEGUIDOR DE LEVA Y TORNILLO GRADUACION



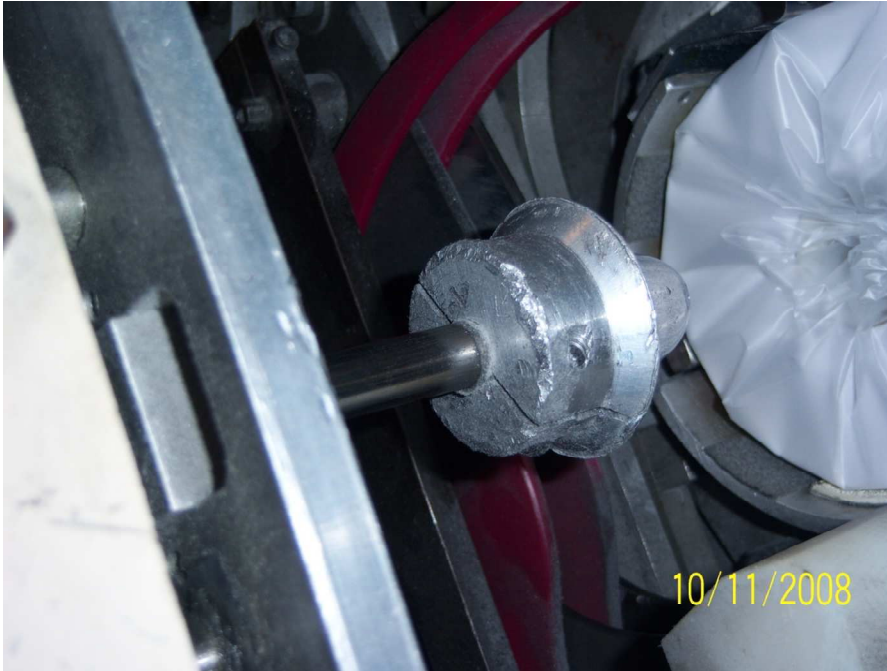
SISTEMA DE VACIO



SISTEMA DE VACIO



EMBUTIDOR



SISTEMA DE CORTE DE LAMINA



SISTEMA SUCCIÓN BANDAS DE LOS TACOS



SELLADOR BASE



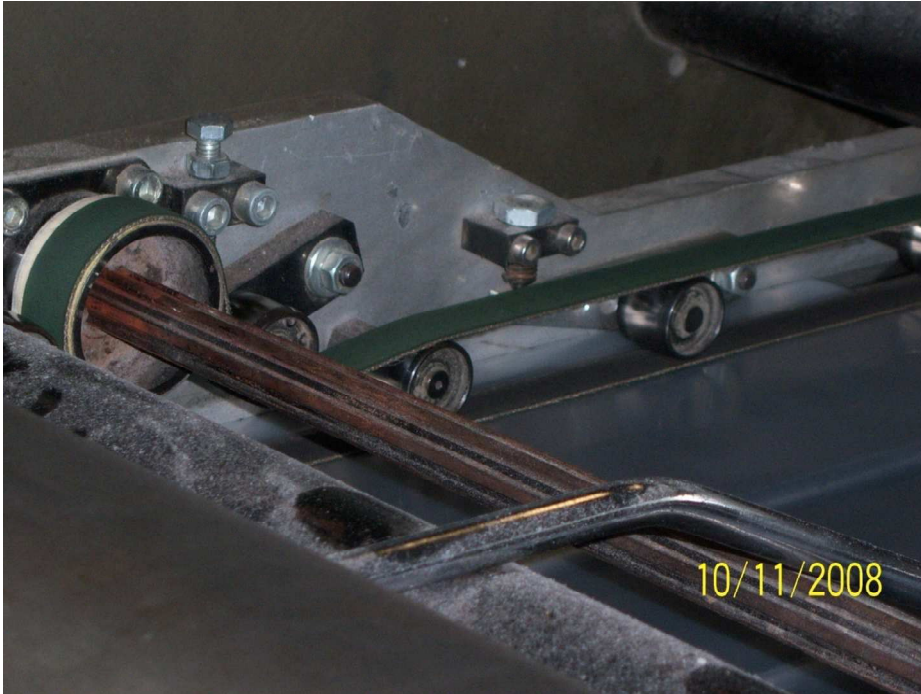
EXPULSOR DE ROLLO



MW30



BANDA TRANSPORTE DE LAMINA



SELLADOR BASE



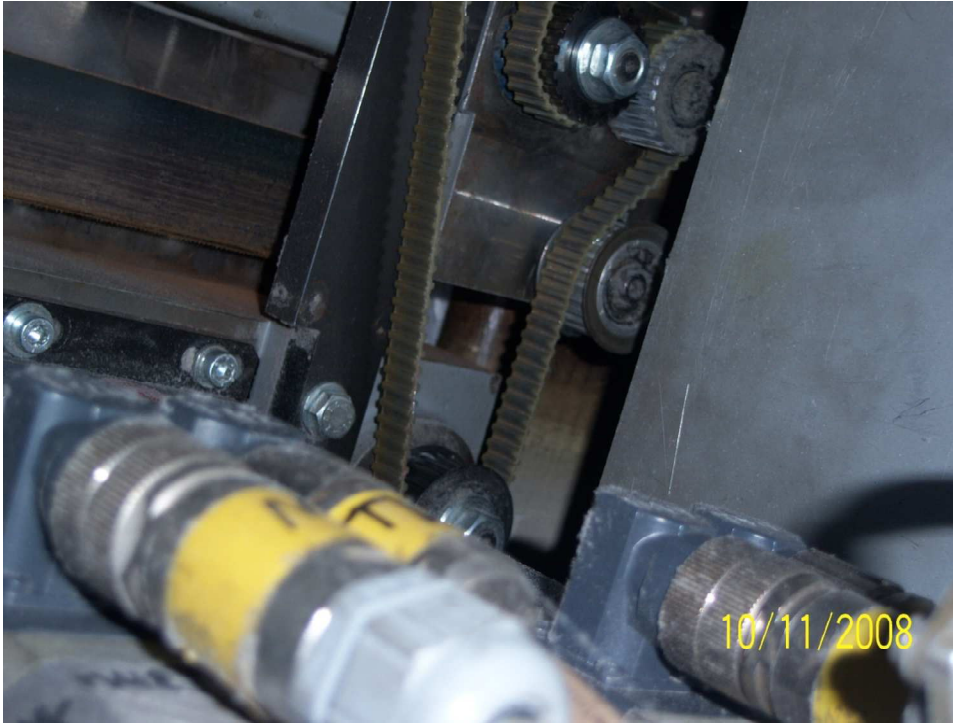
SISTEMA PLEGADORES



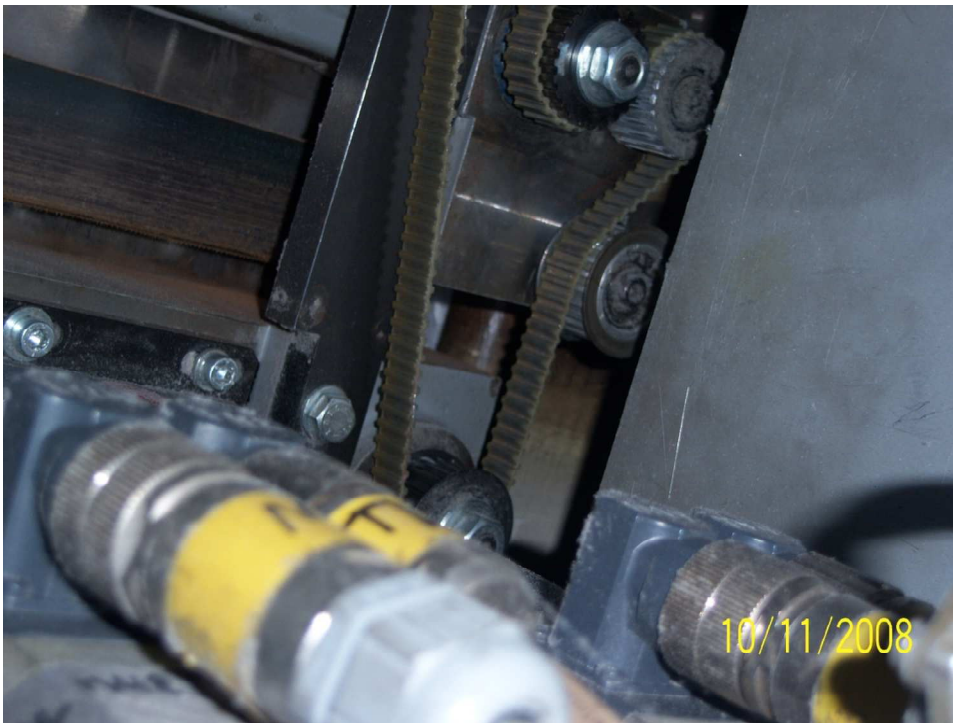
SISTEMA CUCHILLA CORTE LAMINA



BANDA DENTADA LANZADOR



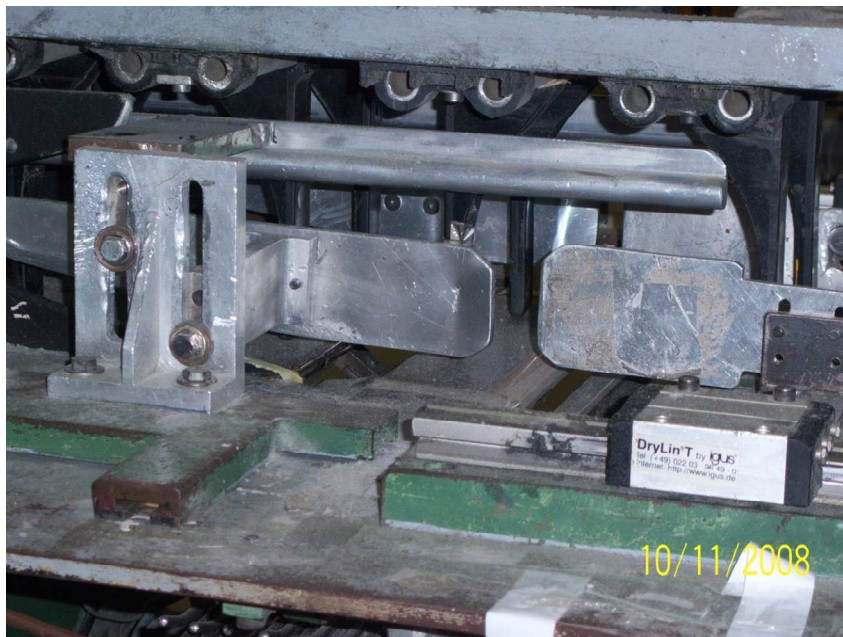
BANDA DOBLE DENTADA 25 T5 X 1930



PW20



SISTEMA DE PLEGADORES



ALIMENTADOR DE ROLLOS



SELLADOR BASE



SISTEMA DE CORTE



BANDA TRANSPORTE DE LAMINA



PW20



ALIMENTADOR DE ROLLOS

