



## Tesis de Grado

# Análisis de la Fiabilidad de la Distribución Eléctrica en Cienfuegos.

---

**Autor:**

Bayan Amad

**Tutores:**

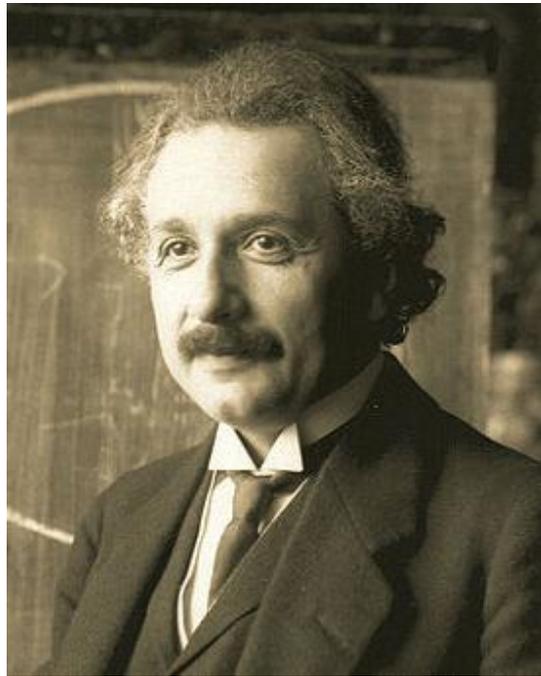
MSc. Ing. Berlan Rodríguez Pérez

Ing. Nelson Fernández Ocampo

*Pensamiento*

**Pensamiento:**

*La imaginación es más importante que el conocimiento*



*A. Einstein*

Albert Einstein

*Dedicatoria*

## **Dedicatoria**

Escribir aquí

# *Agradecimientos*

## Agradecimientos

Escribir aquí

*Resumen*

## Resumen:

En el presente trabajo se realiza un análisis de la fiabilidad de las redes de distribución en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos. El procedimiento utilizado se adapta a partir del modelo de confiabilidad de PDVSA; con la ayuda del cual se realizó un diagnóstico las redes de distribución incluyendo los niveles primarios, secundarios y de servicios. Los datos obtenidos se analizaron de forma probabilística y se ajustaron a distribuciones de probabilidad. A partir de las cuales se encontraron los elementos de mayor incidencia en las fallas, los que se estudiaron más en profundidad. A partir de los análisis realizados se pudo constatar que la empresa no se encuentra en condiciones de realizar los mantenimientos centrados en fiabilidad, ya que no se conocen los tiempos de trabajo de los equipos, para lo que se propone un procedimiento a seguir para la realización de las inspecciones periódicas, el que deberá quedar incluido en la empresa a través de los procedimientos diseñados en el sistema de calidad. Los datos de las fallas de los equipos más problemáticos, permitieron realizar un Análisis de modos de falla y sus efectos, complementando el esta herramienta con los árboles de falla.

*Abstract*

## Abstract

In the present work accomplishes an analysis of the reliability of the distribution nets of Cienfuegos's Electric Company. The used procedure is adapted as from PDVSA's model of reliability; the diagnosis of the distribution nets includes the primary, secondary and services levels. The obtained data was fitted to probability distributions. The founding procedure of elements with bigger incidence was departing on the faults data. The company is not ready to accomplish the maintenances centered in reliability, a procedure is proposed to follow, for the realization of the periodic inspections, that will have to be assessed in order to be included the company system of quality. The faults data of the most problematical items, allow to accomplishing an Analysis of Modes of fault and its Effects, complementing this tool with the Fault Trees.

# *Indice*

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 1: Consideraciones Teóricas.</b>	<b>8</b>
1.1 Fiabilidad Generalidades	8
1.2 Definición matemática de fiabilidad	11
1.3 Funciones y modelos de la fiabilidad	12
1.4 Fiabilidad de sistemas	21
1.5 Teoría de fallas	25
1.6 Gestión de la calidad	29
1.7 Evolución del mantenimiento	33
<b>Capítulo 2: Descripción del Objeto de Estudio y Procedimiento a Seguir.</b>	<b>38</b>
2.1 Introducción general	38
2.2 Elementos principales de la organización de la producción de bienes y servicios en la Empresa Eléctrica Cienfuegos.	43
2.3 Organización del mantenimiento	53
2.4 Procedimiento para el análisis de fiabilidad en la distribución de la empresa eléctrica de Cienfuegos.	58
<b>Capítulo 3: Análisis de la Fiabilidad en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos.</b>	<b>70</b>
3.1 Indicadores de Fiabilidad	70
3.2: Análisis de la probabilidad de fallos	80
3.3 Construcción de Árboles de fallas y generación de soluciones.	87
<b>Conclusiones</b>	<b>94</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>96</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>98</b>

# *Introducción*

## Introducción

El mundo industrial se ha visto envuelto en los últimos años en una alta competencia que obliga a las organizaciones a luchar por ocupar un lugar preponderante en las preferencias del cliente, el cual se refleje en sus ventas y utilidades. Uno de los aspectos que ha impulsado esa competencia es el fenómeno de la globalización, el cual ha inducido a las empresas a implementar formas más eficientes y eficaces de administrar sus procesos, de tal manera que la calidad y la productividad de los productos se mejore continuamente. El mejoramiento continuo de la calidad y la productividad permite a una organización ser más competitiva.

La aplicación de la fiabilidad a la ingeniería de productos y procesos ha demostrado excelentes resultados como medio de anticipar fallas de operación. Muchos de los problemas de producción pueden ser prevenidos mediante las técnicas de fiabilidad, con lo que se podrá obtener un producto acorde a las expectativas del cliente en cuanto a durabilidad y calidad, a las limitaciones tecnológicas y operativas de manufactura y al capital de trabajo. La gran competencia en mercados nacionales e internacionales obliga a las empresas a desarrollar estrategias que tomen como base el precio, la calidad, la fiabilidad y el tiempo de entrega (Anderson, 1990). Estas estrategias han tomado mucho interés en estos días, pues es una realidad que el éxito será para quienes logren llegar primero, con una calidad satisfactoria para el cliente y con un precio razonable y asequible para el nicho de mercado que se pretende capturar. Además, se quiere que estos productos tengan un rendimiento sin falla por un tiempo suficiente (vida útil), que satisfaga las expectativas del cliente.

La Empresa Eléctrica Cienfuegos se plantea como meta prevenir problemas y desarrollar estrategias de mantenimiento orientadas al mejoramiento continuo de la calidad, incremento de la productividad y reducción de los costos, en este contexto surge la necesidad de esta investigación.

En el año 2011 los índices de interrupciones fueron desfavorables según los indicadores propuestos por la Unión Nacional Eléctrica (UNE) en la Empresa Eléctrica, hubo más de 773 fallos en los diferentes niveles de voltaje de las redes eléctricas, entre ellos 141 de postes ó

estructuras, 126 fallos internos en los transformadores, 60 de conductores, 11 de crucetas, 9 buching baja así como otros fallos de drop out ,falsos contactos, etc. Todo lo anterior representa una energía dejada de servir a los clientes con las consecuencias negativas de menor ingreso por concepto de facturación eléctrica a la entidad y el incremento de la insatisfacción al cliente por el servicio recibido.

En consecuencia **el problema científico**

¿Cómo realizar el análisis fiabilidad en la distribución eléctrica para aplicar herramientas que permitan el identificar las oportunidades de mejora?

**La hipótesis** de la investigación plantea:

Aplicando un procedimiento para la mejora de la fiabilidad, se facilitará el empleo de herramientas de mejora que darán la posibilidad de identificar oportunidades de mejora.

**Las variables de la investigación** en consecuencia quedan definidas como:

Variable independiente: Procedimiento para la mejora de la fiabilidad, el cual incluirá la forma en que se deben utilizar las técnicas de análisis.

Variable dependiente: Las oportunidades de mejora identificadas, las cuales dependen de la viabilidad de las técnicas aplicadas para este fin.

**El objetivo general:**

Proponer un procedimiento para la mejora de la fiabilidad en la Empresa Eléctrica Cienfuegos logrando determinar los equipos con mayores problemas y proponer mejoras.

Los **objetivos específicos** que se persiguen en este trabajo son:

- Realizar un diagnóstico de fiabilidad al proceso de distribución eléctrica el cual es clave para la Empresa.
- Determinar los equipos más problemáticos con respecto a la fiabilidad.
- Proponer medidas para la solución de los problemas detectados.

El trabajo está estructurado en introducción, tres capítulos, en el primer capítulo se realiza un estudio teórico de la fiabilidad, el segundo realiza una caracterización y diagnóstico de fiabilidad del objeto de estudio, presenta el procedimiento de análisis de fiabilidad que se

utilizará en esta investigación y el tercero presenta la aplicación del procedimiento y los resultados obtenidos.

# *Capítulo 1*



## Capítulo 1: Consideraciones Teóricas.

En este capítulo se estudian aspectos generales para la aplicación de la fiabilidad en la industria, se analizan conceptos y expresiones matemáticas de fiabilidad elementales para el estudio y análisis de fallas en cualquier entidad y se expone la relación de la gestión de la calidad y la Fiabilidad como herramienta para el mejoramiento continuo, se consideran además los aspectos del mantenimiento que contribuyen al mejoramiento de la fiabilidad. El hilo conductor para la comprensión del marco teórico se muestra en la figura 1.1.

Figura 1.1 Hilo conductor del marco teórico

Fuente: Elaboración propia

### 1.1 Fiabilidad Generalidades

#### 1.1.1 Historia de la Fiabilidad

El comienzo histórico de la aplicación de las técnicas de fiabilidad se inicia en 1713 cuando Jacob Bernoulli formuló la ley de probabilidades de dos eventos independientes, posteriormente y antes de la Segunda Guerra Mundial el concepto se desarrolló y aplicó en la aviación. No obstante, fueron los servicios militares, por tener los problemas más agudos, los que dieron impulso al ordenado desarrollo de la Ingeniería de Fiabilidad. Los problemas de mantenimiento, reparación y las fallas de campo, se convirtieron en dificultades severas del equipamiento militar en la Segunda Guerra Mundial(1).

Entre 1945 y 1950 fueron revelados varios estudios sobre investigaciones realizadas y durante los años 50 numerosas compañías se enfrentaron con nuevos problemas en el



diseño y construcción de complejos sistemas a niveles de confiabilidad sobre lo usual, motivando esto el surgimiento de un nuevo tipo de especialista conocido como Ingeniero de Fiabilidad (Reliability Engineer) (Dhillon, 2005)

Este concepto empezó a interesar realmente a partir de los vuelos tripulados a la Luna, donde los fallos destacan por su dramatismo y espectacularidad. Así mismo, la fiabilidad es de mucho interés en la industria nuclear, donde no pueden admitirse fallos en absoluto. El concepto se ha ido difundiendo poco a poco y aplicando a la industria electrónica y microelectrónica, utilizándose ya en los diversos componentes de los procesos industriales (químicos, mecánicos...) y se habla también con mucha inquietud en la actualidad sobre la fiabilidad humana.

Varias son las causas que han propiciado el desarrollo vertiginoso de la fiabilidad en los últimos años y a que ocupe un lugar estratégico en la política de cualquier organización, entre ellas se destacan:

- Aumento de la complejidad de los sistemas técnicos modernos (incluyen hasta un millón y más componentes individuales). En general, los sistemas complejos se han construido por síntesis de dispositivos más sencillos que tenían una vida satisfactoria. Es un hecho sabido que cualquier dispositivo que, para funcionar, necesite que funcionen todas sus partes será siempre menos estable que cualquiera de estas. Por tanto, a medida que los dispositivos se hacen más complejos, su vida tiende a ser más corta siendo imprescindible entonces mejorar los componentes básicos que constituyen dichos dispositivos.
- Intensidad de los regímenes de trabajo (temperatura, presión, velocidad, etcétera).
- Exigencias de calidad del trabajo del sistema. (Los sistemas son cada vez más exigentes en cuanto a la calidad, especialmente en lo que respecta a la continuidad del servicio, que se basa en la fiabilidad).
- Alto costo y responsabilidad de las funciones que debe cumplir el sistema. (El fallo de un elemento de valor \$5,00 provocó el fracaso del lanzamiento de un satélite de valor 8 millones).
- Automatización total o parcial con la exclusión progresiva de la participación directa del hombre. (El microprocesador Como elemento de mando). (Andreani, 2009)

Con estos antecedentes, se afirma que la fiabilidad se ha convertido ya en una ciencia independiente, relativamente joven, que se ha formado como consecuencia del estudio teórico y experimental multifacético de las regularidades relacionadas con el aseguramiento del trabajo sin fallo de los artículos técnicos, teniendo como base y utilizando en gran medida, entre otras:

- La teoría de las Probabilidades y la Estadística Matemática
- La Electrónica
- La Ciencia de los Materiales



- La teoría del Desgaste
- La Economía

La fiabilidad cada día toma más relevancia debido a la creciente demanda por productos de calidad que tengan buen desempeño durante un tiempo suficientemente largo. La aplicación de la fiabilidad en la ingeniería permite anticipar fallas de operación, al realizar pruebas de campo, análisis de fallas y determinar la probabilidad de su ocurrencia; así se pueden prevenir problemas en la producción y desarrollar estrategias de mantenimiento orientadas al mejoramiento continuo de la calidad, incremento de la productividad y reducción de los costos.

El concepto de fiabilidad, al igual que muchas técnicas de calidad y productividad, tuvo su origen durante la segunda guerra mundial, pues en ese momento era una meta fundamental lograr alta fiabilidad en el material bélico a fin de disminuir al máximo la probabilidad de falla de cualquier equipo. Este concepto se ha venido depurando vertiginosamente en los últimos años, hasta convertirse en un área importante de investigación en la que se incorpora una gran variedad de conceptos matemáticos y estadísticos. **(J. Acuña, 2003).**

La *fiabilidad* es la característica de calidad que mide la duración de los productos, los cuales deben operar sin fallas durante un tiempo especificado para ser confiables. **(Gutiérrez, 2004).**

En **(J. Acuña, 2003)** define el concepto de *fiabilidad*  $R(t)$  como la *probabilidad* de que una unidad de producto se desempeñe satisfactoriamente cumpliendo con su función durante un *período de tiempo diseñado y bajo condiciones previamente especificadas*. Donde la *probabilidad* es un resultado numérico de un evento aleatorio para el cual se conocen o no sus causas y debe ser de una magnitud comprendida entre cero y uno, el *período diseñado* significa que el funcionamiento del producto no es para siempre, si no hasta que se logre un nivel adecuado de satisfacción del cliente y las *condiciones previamente especificadas* significa que el proceso no se desarrolla bajo cualquier condición, sino bajo aquellas establecidas en el diseño y descritas muy claramente en los instructivos de uso y vida útil de producto, relacionado con cantidades físicas tales como presión, temperatura, humedad, viento, tensión o acciones humanas que imponen al producto un reto durante su funcionamiento y una probabilidad de acortar su vida útil.

Un estudio de fiabilidad busca estudiar la vida de un producto medida en unidades de tiempo (minutos, horas, días) o unidades relacionadas como son número de ciclos, distancia



recorrida, piezas producidas, etc. La variable de respuesta o característica de calidad de interés en los estudios de fiabilidad es el tiempo a la falla. **(Gutiérrez, 2004).**

## 1.2 Definición matemática de fiabilidad

La probabilidad y la estadística estudian modelos (abstracciones de la realidad) que permiten variaciones en la salida de un sistema, aún cuando las variables que se controlan no cambien a propósito durante el estudio. Estos modelos se emplean para comprender, describir y cuantificar aspectos importantes del sistema y predecir la respuesta del sistema a diversas entradas. La probabilidad puede interpretarse como el grado de creencia de que ocurra el resultado, es útil cuantificar la posibilidad de que se presente cierto resultado. Para ello se asigna un número del intervalo  $[0,1]$  o un porcentaje del 0 al 100 %. Entre más grande sea el número mayor probabilidad del resultado.  $P(B) = 0$  y  $P(C) = 1$ , son el resultado imposible y el seguro. A la asociación de un número con cada resultado de un experimento aleatorio se le conoce como variable aleatoria y el experimento aleatorio es aquel que puede proporcionar diferentes resultados, aún cuando se repita siempre de la misma manera. **(Gutiérrez, 2004).**

Las variables aleatorias discretas toman valores de un conjunto discreto de tal forma que cada posible valor  $x$  tiene asignada una probabilidad. Es por ello que su distribución viene definida por una función discreta, llamada función de probabilidad.  $P_x(x)$ . Las variables aleatorias continuas pueden tomar cualquier valor de la recta real. Es por ello por lo que su distribución viene definida por una función continua que llamamos función de densidad  $f_x(x)$ . Según el tipo de variable con que estemos trabajando la forma de la función de densidad nos dirá cuál es su comportamiento. **(Carrión, 2002).**

La definición matemática de fiabilidad utiliza principios de cálculo diferencial e integral que usa como variable independiente y aleatoria el tiempo y como variable dependiente la función de falla  $f(t)$ . Con ello es posible determinar por medio de la integración de esa función de falla y en el período de tiempo fijado el valor de la fiabilidad que corresponde. Esto se hace de la siguiente manera: **(Acuña, 2003)**

Sea  $R(t_1) = P(t > t_1)$  = probabilidad de que el sistema (producto o máquina) opere sin falla por un período de tiempo  $t_1$  o fiabilidad del sistema en el tiempo  $t_1$ .

Si  $F(t) = P(t \leq t_1)$  entonces  $R(t) = 1 - F(t)$



$$(1.1)$$

Sea que  $R(t = 0) = 1$  y  $R(t = \infty) = 0$

Por definición matemática entonces:

$$\text{—————} \quad (1.2)$$

### 1.3 Funciones y modelos de la fiabilidad

Respondamos entonces la interrogante de ¿qué funciones matemáticas y a través de qué modelos se puede determinar la fiabilidad?

En general las funciones que se utilizan en fiabilidad son: función de densidad, función de distribución acumulada, función de fiabilidad, función de riesgo, función de riesgo acumulada, vida media o tiempo medio a la falla y función cuantil.

La función de densidad es una función no negativa cuya integral sobre todo su rango posible es igual a 1. Lo que significa que el área bajo la curva entre dos valores es la probabilidad de observar fallas en ese intervalo. En fiabilidad suelen interesar funciones de densidad definidas en el intervalo de cero al infinito, puesto que los tiempos de vida no pueden ser negativos. La función  $f(t)$  es función de densidad (continua) si cumple que:

$$(1.3)$$

A partir de la función de densidad se definen otras funciones útiles en fiabilidad. **(Gutiérrez, 2004).**

La función de distribución acumulada,  $F(t)$  se define como la integral de la función de densidad hasta el tiempo  $t$ , y no es otra cosa que la probabilidad de fallar antes del tiempo  $t$  ( $P(T \leq t)$ ). Limitándonos a funciones de densidad de probabilidades definidas en el intervalo de cero al infinito, la función de distribución acumulada es:

$$(1.4)$$

Con ésta función siempre creciente se obtiene directamente la probabilidad de fallar o la proporción de fallas antes del tiempo  $t$ .

La función de fiabilidad,  $C(t)$  es una función siempre decreciente, también conocida como función de supervivencia, se define como  $C(t) = 1 - F(t)$ . Representa la probabilidad de



sobrevivir al tiempo t. Cualquier producto falla o sobrevive a un tiempo dado t, por lo que  $C(t) + F(t) = 1$ . (**Gutiérrez Pulido, 2004**).

La función de riesgo es también conocida como tasa de falla instantánea o tasa de riesgo, se define como:

$$\frac{f(t)}{R(t)} \tag{1.5}$$

Y se puede probar (**véase Meeker y Escobar, 1999**) que es el resultado del siguiente límite:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t R(t)} \tag{1.6}$$

De aquí se deduce que  $h(t)$  es aproximadamente la probabilidad condicional de, habiendo sobrevivido hasta el tiempo t, fallar en el intervalo pequeño  $[t, t + \Delta t]$ . En otras palabras es la propensión a fallar que se tiene al tiempo t. Se esperaría que la función de riesgo fuera creciente, pues a medida que transcurre el tiempo se incrementa la propensión a fallar de muchos productos. Sin embargo, existen casos de productos que al inicio de su vida su propensión a fallar disminuye, es decir, al menos en dicho período su tasa de riesgo es decreciente. Existen algunos productos que durante toda la vida útil su tasa de riesgo es decreciente y en algunos es constante, esto significa que la propensión a fallar es la misma independientemente del tiempo transcurrido. (**Gutiérrez, 2004**).

La función de riesgo acumulado es la integral hasta el tiempo t de la función de riesgo, es decir,

$$R(t) = \int_0^t h(x) dx \tag{1.7}$$

La vida media es el valor que en promedio dura la vida del producto, es el valor esperado o media de la variable T, es decir,

$$E(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt \tag{1.8}$$

La vida media no es muy útil cuando la distribución de los tiempos de vida es sumamente asimétrica. En general es más recomendable la vida mediana, definida como el cuantil 50 %. La función cuantil p es el tiempo  $t_p$  al cual se espera falle una fracción o proporción p de las unidades. Se puede definir en términos de la función de distribución acumulada como:

$$t_p = F^{-1}(p) \tag{1.9}$$



Esta función es útil en fiabilidad porque contesta de manera directa la pregunta sobre el tiempo al cual falla una fracción deseada de las unidades. Típicamente interesa estimar el tiempo al cual falla un porcentaje bajo de unidades (1%, 5%, 10%, 15%).

Cada una de las funciones mencionadas caracteriza la distribución de probabilidades a la que pertenece, lo que hace posible que, dada una de ellas, se puedan deducir todas las demás. Si una distribución es un buen modelo, entonces a través de ella se encuentran las principales características del sistema (población o proceso), tales como su tendencia central y variabilidad. **(Gutiérrez, 2004).**

Las distribuciones binomial, geométrica e hipergeométrica son modelos relacionados con el experimento de Bernoulli, que es un experimento aleatorio donde en cada realización ocurre sólo uno de dos resultados posibles. A uno de los resultados se le llama éxito y al otro fracaso. La distribución binomial  $(n, p)$  proporciona la probabilidad de observar  $x$  éxitos en una secuencia de  $n$  experimentos Bernoulli independientes con una probabilidad constante de éxito  $p$ , con  $x = 1, 2, 3, \dots, n$ . La distribución geométrica proporciona la probabilidad de realizar  $X$  experimentos Bernoulli independientes con probabilidad constante de éxito a fin de obtener el primer éxito  $X = 1, 2, \dots$ . La distribución hipergeométrica da la probabilidad de obtener  $X$  éxitos en  $n$  experimentos Bernoulli donde no se mantiene la probabilidad de éxito constante. La distribución de Poisson caracteriza situaciones de obtener número de eventos que ocurren por unidad, tales como; número de defectos por artículo, número de defectos por metro cuadrado, número de impurezas en un líquido, número de errores de un trabajador. **(Gutiérrez, 2004).**

### 1.3.1 Modelos que permiten determinar la fiabilidad

Usualmente la información de datos relativos a las fallas sobre elementos de ingeniería es registrada y procesada con parámetros como el tiempo medio entre fallas y la tasa de fallas. El tiempo para fallar de cada elemento puede seguir diferentes modelos. A través de los años varias distribuciones estadísticas han sido utilizadas para representar estos modelos, como la exponencial, Weibull, normal, gamma y Rayleigh. Las experiencias pasadas indican que generalmente el tiempo para fallar de partes electrónicas sigue la distribución exponencial y partes mecánicas la Weibull. No obstante, en la vida real para la evaluación de fiabilidad de sistemas y partes en ingeniería es usada ampliamente la distribución exponencial.



Probablemente el factor más importante para esta amplia aplicación sea la simplicidad de su uso. **(Dillon, 2007)**

Las variables aleatorias se caracterizan por el hecho de seguir determinadas pautas en su comportamiento y siguen cierta distribución, que nos permite hallar las probabilidades de que ocurran determinados sucesos **(Carrión, 2004)**.

Algunas variables aleatorias presentan comportamientos característicos que son estándares de uso frecuente. Cuando una variable aleatoria se representa en forma gráfica, es posible identificar una distribución de probabilidad de esa variable que puede ser empírica o teórica. Las distribuciones empíricas se representan utilizando distribuciones de frecuencias de datos agrupados **(Acuña, 2002)**. Las distribuciones teóricas, ya sean discretas o continuas, han sido estudiadas y definidas, lo que permite un excelente medio de ajustar el comportamiento de una variable. **(Acuña, 2003)**

Para determinar si un conjunto de datos se distribuyen por alguna de éstas distribuciones teóricas se utilizan las pruebas de bondad de ajustes, donde sobresalen: la prueba chi-cuadrado, (muestras grandes en datos agrupados) **(Acuña, 2002)**, Kolmogorov - Smirnov (muestras grandes en datos no agrupados) y Shapiro – Wills (muestras pequeñas en datos no agrupados) **(De Vore, 1998)** para lo que se pueden usar paquetes estadísticos, que tienen módulos para pruebas de éste tipo que evalúan estadísticamente ese ajuste. **(Acuña, 2003)**

Existe gran diversidad de distribuciones que se han utilizado como modelos de tiempo de falla. La justificación más frecuente de un modelo es su mejor ajuste a los datos observados. En cualquier estudio de fiabilidad un aspecto fundamental es identificar cuál es la distribución que mejor modela el tiempo de falla (o vida) de los productos.

Los tiempos a la falla son valores no negativos que suelen tener un comportamiento asimétrico, con sesgo positivo. Esto hace que la variable aleatoria “tiempo a la falla” tenga comportamientos diferentes al modelo normal. Por ello, para modelar tiempos de vida no se usa con frecuencia la distribución de probabilidad normal, sino distribuciones que toman valores positivos como la Weibull, lognormal, exponencial y gamma, por mencionar algunas. Como modelos de tiempo de falla se han utilizado frecuentemente cinco distribuciones: exponencial, Weibull, valor extremo, normal y lognormal. **(Gutiérrez, 2004)**.



El Grupo de implantación Innovación y mantenimiento coincide en que las distribuciones de probabilidad que con más frecuencia se usan en fiabilidad son: normal, lognormal, exponencial, Weibull e incluyen además la distribución gamma.

La distribución exponencial se utiliza frecuentemente para modelar tiempos. Una de las características distintivas de la distribución exponencial es que su función de riesgo es constante, esto significa que los productos cuyo tiempo de falla siguen una distribución exponencial, “no envejecen” o “no se fatigan”. Pero esto no significa que no fallen, más bien lo que implica es que su tasa de riesgo o propensión a fallar se mantiene constante en el tiempo. Esta propiedad de la distribución exponencial se conoce como *falta de memoria*, en el sentido de que los productos cuya vida es exponencial no registran en su tasa de riesgo el tiempo transcurrido: sin importar que el producto tenga mucho tiempo funcionando, su riesgo de fallar es el mismo que cuando estaba nuevo. Si bien la propiedad de falta de memoria parece irreal, en la práctica existen productos cuya vida se puede modelar bien con esta distribución. Por ejemplo, se ha utilizado para describir la vida de componentes electrónicos de alta calidad que generalmente fallan por causas ajenas o extrínsecas al propio producto, y estas fallas ocurren de manera aleatoria en el tiempo. Contrariamente, la distribución exponencial no es útil para modelar la vida de productos sujetos a desgaste o fatiga de algún tipo, por ejemplo piezas metálicas como balatas, baleros, bisagras, etc., ya que en éstos productos la tasa de riesgo se incrementa con el tiempo. **(Gutiérrez, 2004).**

La distribución Weibull dada su flexibilidad, es una de las más utilizadas para describir la vida de productos, ya que permite modelar productos con tasas de riesgo creciente, constante y decrecientes. En su forma típica esta distribución está determinada por dos parámetros: el de forma (  $k$  ) y el de escala (  $\lambda$  ). Como sus nombres lo indican el primero tiene efecto sobre la forma que toma la distribución y el segundo afecta la escala del tiempo de vida. **(Gutiérrez, 2004).**

La distribución Weibull es un modelo apropiado para modelar tiempos de falla de productos compuestos por muchas partes con distribuciones de vida comparables, donde el producto falla cuando una de las partes falla. Es decir, el tiempo de falla del producto es igual al tiempo de falla mínimo de las partes que lo conforman (falla de eslabón más débil). Por ejemplo, la vida de un capacitor está determinada por la porción de su dieléctrico con vida más corta. **(Gutiérrez, 2004).**



La distribución del valor extremo, es la distribución natural para modelar productos cuya vida es la mínima de sus componentes, en el mismo sentido que se comentó para la distribución Weibull. En la función de densidad de ésta distribución,  $m$  es un parámetro de localización y  $s$  de escala. La distribución del valor extremo está relacionada muy estrechamente con la Weibull, ya que si la variable  $T$  sigue una distribución Weibull  $(k, \lambda)$ , su logaritmo neperiano  $\ln(T)$  sigue una distribución valor extremo con parámetros de escala  $s$  y parámetro de localización  $m$ . **(Gutiérrez, 2004).**

La distribución normal es una distribución continua cuya densidad tiene forma de campana. La distribución normal no es de las más utilizadas en los datos de vida, puesto que la variable “tiempo de falla” suele tener un comportamiento asimétrico, mientras que la normal siempre es simétrica. Sin embargo, en ocasiones es el modelo seleccionado por ajustarse mejor a los datos. En teoría, la distribución normal es el modelo apropiado cuando la falla del producto es el resultado de muchos pequeños efectos que actúan de manera aditiva sobre el producto. En la función de distribución acumulada,  $F$  es la función de distribución acumulada de la normal estándar. **(Gutiérrez, 2004).**

En la distribución normal el parámetro de localización,  $m$ , coincide con la media de la distribución y el parámetro de dispersión,  $s$ , es la desviación estándar. Esta es la única distribución donde ambos parámetros tiene esta interpretación directa.

El modelo lognormal puede servir cuando los tiempos a la falla son el resultado de muchos efectos pequeños que actúan de manera multiplicativa. Esto hace que al sacar el logaritmo dichos efectos se conviertan en efectos que actúan de manera aditiva sobre el logaritmo del efecto global o logaritmo del tiempo de falla. Es por ello que el logaritmo de una variable lognormal la transforma en una variable normal. En las expresiones más usadas en fiabilidad para la distribución lognormal  $m$  es el parámetro de localización, se conoce también como logmedia, y  $s$ , parámetro de escala se conoce como log desviación estándar. Existe una estrecha relación entre la distribución lognormal y la normal, ya que si  $T$  sigue una distribución lognormal, su logaritmo neperiano  $\ln(T)$  sigue una distribución normal. O bien, si  $T$  tiene una distribución normal,  $\ln(T)$  tiene una distribución normal. El modelo lognormal se ha utilizado para modelar los tiempos de falla de procesos de degradación, por ejemplo, de fatiga de metales y de aislantes eléctricos. **(Gutiérrez, 2004).**

La distribución de la bañera, que toma su nombre de su forma, es una distribución típica de la representación de vida útil de productos. La forma clásica que toma ésta distribución se puede observar en la figura 1.2. (Acuña, 2003)

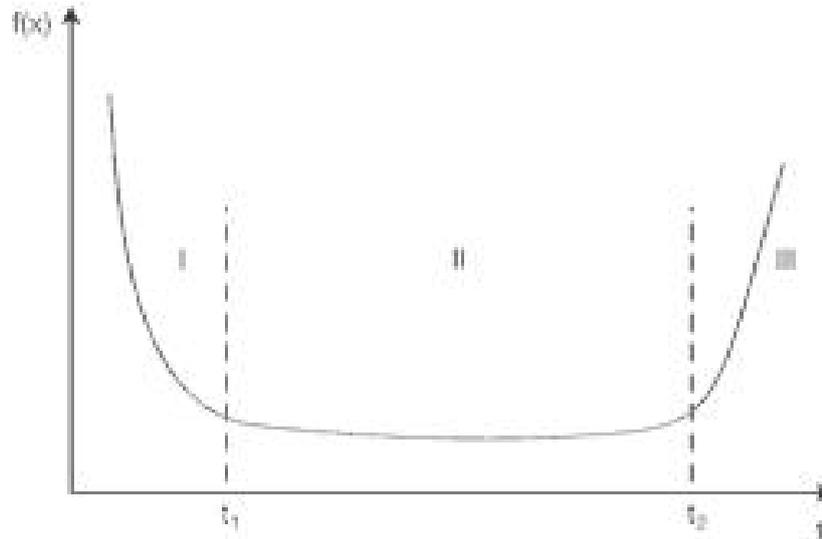


Figura 1.2 Distribución de la bañera

Fuente: Jorge Acuña, Ingeniería de Fiabilidad

Existen tres períodos en el comportamiento de ésta distribución: (Dhillon, 1985)

- I. *Período de mortalidad infantil*: que va desde  $t = 0$  hasta  $t = t_1$ . Este segmento se caracteriza por ser un período de fallas tempranas debidas a la naturaleza novedosa del producto. Conforme el producto se ajusta a las condiciones de funcionamiento, las fallas van disminuyendo. La distribución que mejor se ajusta en éste período es una distribución exponencial negativa.
- II. *Período de falla constante*: que va de  $t = t_1$  a  $t = t_2$ . Este período se caracteriza por una ocurrencia casi constante de fallas. Los equipos o productos se han adaptado a su forma de funcionamiento, de tal manera que la probabilidad de fallas se mantiene aproximadamente constante. La distribución que mejor se ajusta en éste período es la distribución uniforme continua.
- III. *Período de desgaste*: que va de  $t = t_2$  hasta  $+$ . Este período se caracteriza por un período creciente de fallas que indica que el producto está pronto a cumplir con su



ciclo de vida útil. La distribución de probabilidad que mejor se ajusta en este período es la distribución exponencial positiva.

(Gutiérrez, 2003) explica la distribución de la bañera con la función de riesgo y con esta caracterizan la vida de un producto. Los dos puntos de inflexión que separan las tres etapas de la vida son de interés en el estudio de fiabilidad del producto: el primero tiene relación directa con la determinación del tiempo de quemado o “burn - in”, y el segundo tiene relación con el tiempo al cual la unidad debe sustituirse por una nueva, o bien darle un mantenimiento mayor para alargar su vida útil.

En las tablas 1 y 2 se resumen las funciones más usadas en fiabilidad para las distribuciones mencionadas anteriormente.

**Tabla 1.** Vida media y Función cuantil para los Modelos Exponencial, Weibull, Valor extremo (para mínimos), Normal y Lognormal

Modelo	Vida media	Función cuantil
Exponencial		
Weibull		
Valor extremo (para mínimos)		
Normal		
Lognormal		

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 2.** Funciones de Fiabilidad para los Modelos Exponencial, Weibull, Valor extremo (para mínimos), Normal y Lognormal.

Modelo	Función de densidad	Función de in fiabilidad	Función de fiabilidad	Función o tasa de riesgo
Exponencial				
Weibull				
Valor extremo				
Normal			$\Phi$	
Lognormal				

Fuente: Elsayed Elsayed 2005



## 1.4 Fiabilidad de sistemas

La evaluación de la fiabilidad de un sistema es representado por diagramas de bloques, a su vez un diagrama de bloque es formado por varios sub bloques, representando subsistemas, unidades, partes. La probabilidad de falla o de éxito de cada subsistema, unidad o parte es estimada para calcular la probabilidad de falla, de éxito de todo el sistema. En este caso la probabilidad de éxito o falla de los componentes no varía con el tiempo, ésta se mantiene constante. Generalmente en este tipo de análisis o evaluación de fiabilidad es asumido que los componentes, unidades, subsistemas fallan independientemente. (Dhillon, 2005)

Con frecuencia los componentes de un sistema están conectados en serie, en paralelo o en forma mixta. Cuando están conectados en serie se requiere que todos los componentes funcionen para que el sistema funcione; cuando están en paralelo basta que uno de los componentes funcione para que el sistema funcione. Bajo el supuesto de que los componentes del sistema son independientes, es posible calcular con relativa facilidad la fiabilidad del sistema. (**Gutiérrez, 2004**).

### 1.4.1 Conexiones en series

Un sistema en serie con  $k$  componentes, cuyas fiabilidades son  $C_1, C_2, \dots, C_k$ ; respectivamente. Bajo el supuesto de que trabajan de manera independiente, la fiabilidad del sistema es igual a la probabilidad de que todos funcionen, por lo tanto está dada por:

$$(1.10)$$

Puesto que se requiere que todos funcionen para que el sistema funcione. Esta es la llamada *regla del producto de probabilidades*. Mientras más larga es la serie de componentes, la fiabilidad del sistema es menor, ya que  $0 < C_i < 1$ . De aquí que una forma de mejorar la fiabilidad del sistema es reducir la cantidad de componentes que están conectados en serie. (**Gutiérrez, 2004**). Cada bloque en el diagrama representa una unidad o componente, si al menos una unidad falla, el sistema falla. En otras palabras, todas las unidades deben operar normalmente para el éxito del sistema.

### 1.4.2 Conexiones en paralelo

Es una red ampliamente usada y representa un sistema con unidades operando simultáneamente. Al menos una unidad debe operar normalmente para que el sistema sea exitoso. En un sistema en paralelo de  $k$  componentes, basta que uno de ellos funcione para que el sistema funcione. O bien, se requiere que todos fallen para que el sistema falle. De aquí restando a 1 la probabilidad de que todos fallen, es igual a la fiabilidad del sistema, esto es,

$$(1.11)$$

A mayor cantidad de componentes en paralelo o redundantes, el sistema es más confiable. **(Gutiérrez, 2004).**

La configuración de un sistema en paralelo implica una decisión inicial acerca de cuáles y cuántos componentes deben ser redundantes, pero sobre todo, las razones por las cuales debe crearse esa redundancia, las cuales se refieren esencialmente a la naturaleza de la falla y sus consecuencias humanas, técnicas y económicas. **(Acuña, 2003).**

### 1.4.3 Conexiones en serie y en paralelo

Muchos sistemas están compuestos por subsistemas en serie y en paralelo conectados de cierta manera. En algunos de estos casos puede ser complicado obtener la fiabilidad del sistema. De hecho un problema que surge es determinar la configuración de los componentes que maximiza la fiabilidad del sistema. **(Gutiérrez, 2004).**

Para calcular la fiabilidad del sistema, éste se puede ver como un sistema en serie de cuatro componentes, dos de los cuales a su vez son sistemas en paralelo.

En la tabla 3, se muestra un resumen de las expresiones para la evaluación de la fiabilidad de las diferentes conexiones básicas y las derivadas de éstas.

En la Unidad de Negocios Refinería “Camilo Cienfuegos” los sistemas tecnológicos se caracterizan por tener conexiones en serie, la mayoría de los equipos dinámicos tienen conexión en paralelo y en los bancos de intercambio es característica la conexión paralelo – serie.



**Tabla 3.** Resumen de fórmulas para el cálculo de la fiabilidad de sistemas para conexiones en Serie, Paralelo, Serie –Paralelo, K-out-of-m, Paralelo –Serie, Puente y Stand by.

Conexión	Diagramas	Expresión de evaluación de Fiabilidad	
		Modelo estático	Modelo dinámico
Series	Aplica en todas las Unidades de Procesos de Refinería "Camilo Cienfuegos"		
Paralelo	Aplica en todas las Unidades de Procesos de Refinería "Camilo Cienfuegos" para los equipos dinámicos		
Serie- Paralelo	Aplica en los bancos de intercambio de las Unidades de Procesos de Refinería "Camilo Cienfuegos"		



Conexión	Diagramas	Expresión de evaluación de Fiabilidad	
		Modelo estático	Modelo dinámico
K-out-of-m			
Paralelo - Serie			
Puente			
Stand by			

Fuente: Elsayed Elsayed 2005

## 1.5 Teoría de fallas

El fallo es el suceso después del cual el componente o sistema deja de cumplir total o parcialmente sus funciones. Los fallos pueden ser: **(Rivero, 2005)**

- a. Catastróficos o paramétricos, atendiendo a la magnitud en que el componente o sistema pierda su capacidad de trabajo. Los fallos catastróficos inhabilitan completamente el trabajo del componente. Este es el caso de la rotura mecánica y el cortocircuito. Los fallos paramétricos son los fallos parciales que sólo degradan o limitan la capacidad de trabajo del componente.
- b. Independientes o dependientes, si la causa de fallo es específica del componente o sistema dado si ella es causa además del fallo de otros. En este último caso se produciría el fallo simultáneo o cuasi simultáneo de varios equipos por la misma causa, lo que podría afectar sensiblemente la seguridad.
- c. Repentinos o graduales, atendiendo a la forma en que aparece el fallo, súbitamente o pasando por estados degradados previos. El fallo gradual es característico de los procesos de desgaste y envejecimiento por el uso continuado.
- d. Estables, temporales o intermitentes, atendiendo al tiempo de permanencia del estado fallado. Existen fallos estables que impiden el trabajo del componente permanentemente hasta que no se somete al mantenimiento correctivo. Los fallos temporales a veces se “limpian” una vez que desaparece la causa que temporalmente los provocó (esto ocurre por ejemplo en los sistemas de transporte de energía eléctrica debido a fenómenos naturales). Los fallos intermitentes son los que desaparecen y vuelven a aparecer al cabo de un tiempo.
- e. De interrupción o de bloqueo, atendiendo al momento de la explotación en que se producen. son de interrupción cuando ocurren en el momento en que un equipo se encuentra en operación e interrumpe su trabajo, son de bloqueo cuando ocurren en el momento en que se trata de arrancar un equipo y éste se bloquea y no puede hacerlo.



- f. Visibles u ocultos, dependiendo de la posibilidad de detección del fallo. El fallo es visible cuando puede detectarse y ser corregido en cuanto se produce. El fallo es oculto cuando se produce en dispositivos a la espera que no pueden controlarse de forma continua y pueden estar fallados inadvertidamente.
- g. Primarios, secundarios, comando o modo común, atendiendo a la naturaleza de su origen y sus causas. El fallo es primario si ocurre en el propio componente o sistema, es secundario si ocurre en un sistema o componente soporte (ventilación, alimentación eléctrica, etc.) que da servicio al dispositivo, y por tal razón, éste queda funcionalmente indisponible. Es comando si se produce en la formación de la señal necesaria para el arranque del dispositivo, el cual no llega a producirse porque el componente no se “entera” de que debe hacerlo. Por último el fallo modo común es el fallo dependiente que tiene lugar en componentes redundantes e idénticos, susceptibles de diversos factores de acoplamiento técnicos, ambientales y humanos.

### 1.5.1 Modos de fallo de componentes

El fallo puede ocurrir de diversas formas, conocidas como *modos de fallo*. El modo de fallo se refiere a la forma en que se manifiesta el fallo de un componente. Los modos de fallos más característicos se relacionan a continuación: **(Rivero, 2005)**

- Fallo al arranque: Caracteriza el fallo de componentes a arrancar cuando son demandados. Es aplicable a todos los componentes que realizan su función arrancando y con movimiento continuo subsiguiente. Ejemplos: Bombas, Diesel, ventiladores, Compresores.
- Fallo en Operación: Caracteriza el fallo de un componente que trabaja en forma continua durante un tiempo de misión requerido. Es aplicable a todos los componentes que realizan su función por movimiento continuo. Ejemplos: Bombas, Diesel, ventiladores, Compresores (durante su fase de operación).
- Fallo a la apertura: Caracteriza el fallo de un componente a moverse a una posición nueva, abierta. Ejemplos: Válvulas, Interruptores.



- Fallo al cierre: Caracteriza el fallo de un componente a moverse a una posición nueva, cerrada. Ejemplos: Válvulas, Interruptores.
- Fallo al mantenimiento de la posición: Caracteriza los fallos de componentes para mantener la posición requerida. Se refiere a componentes que tienen que mantener su posición durante el tiempo de misión o estar en posición correcta cuando son demandados. Ejemplos: Válvulas, Interruptores.
- Fallo por rotura: Caracteriza una rotura grande en la frontera de retención de fluido. Es aplicable a todos los componentes que retienen líquido. Este fallo inhabilitaría al componente para realizar su función y puede presentarse durante la operación o estar presente en el momento que el componente se encuentra a la espera y es demandado. Ejemplos: Intercambiadores, Bombas.
- Fallo en funcionamiento: Es un modo de fallo general, que caracteriza el fallo de un componente para cumplir su función. Es aplicable a componentes que no se mueven (macroscópicamente) para ejecutar su función. Este fallo puede ser relativo al tiempo de operación o a la demanda. Ejemplos: Baterías, transformadores, equipos de instrumentación y control.
- Obstrucción: Caracteriza cualquier forma de obstaculizar el flujo en la dirección requerida, no causada por la operación normal del componente. Es aplicable a la mayoría de los componentes a través de los cuales se mantiene o establece un flujo de líquido, vapor o gas.
- Corto a tierra, corto circuito y circuito abierto: Son aplicables a los componentes eléctricos y de instrumentación y control. Se trata de fallos relativos al tiempo de operación o de espera. Ejemplos: Barras, Centros de Control de Motores.

### 1.5.2 Herramientas de evaluación de fallas

Para identificar las causas reales y potenciales de las fallas de un sistema en estudio (**Acuña, 2003**) explica algunas herramientas como el diagrama causa efecto, análisis de modo y efecto de falla (AMFE), diagramas de eventos y



diagramas de árbol, considerándolas como medios que sirven para esquematizar la información y dejarla dispuesta para su análisis y para el desarrollo de mejoras. **(Rivero, 2005)** realiza una explicación detallada del árbol de eventos y el árbol de fallos.

En un diagrama causa efecto se anota en un recuadro el nombre de la falla principal, los elementos tecnológicos, ambientales, humanos, organizacionales como encabezado en cada rama y finalmente se anotan las causas de falla de cada factor, así se esquematiza la influencia de cada factor y evalúan los efectos que correspondan a la falla.

La metodología AMEF permite detectar aspectos críticos que requieren atención, es una herramienta clave en la labor de mejorar la fiabilidad de procesos y productos, proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o un proceso, junto con el efecto que provocan éstas. A partir de lo anterior, el grupo establece prioridades y decide acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales que vulneran la fiabilidad.

El árbol de eventos es una técnica de modelado inductiva, parte de un suceso iniciador particular y se ramifica en diversos estados finales generales posibles, de éxito (OK) o daño (X), dependiendo de las respuestas de los sistemas en los encabezamientos. Los nodos son puntos de decisión del sistema que corresponda. En ellos se produce la bifurcación en dos caminos, uno hacia arriba, correspondiente al éxito del sistema y otro hacia abajo, correspondiente a su fallo. Para evaluar cuantitativamente el riesgo que representa un suceso iniciador, y sus contribuyentes, es necesario desarrollar previamente los modelos de fiabilidad de los sistemas, pues de la probabilidad de éxito o falla de dichos sistemas dependerá que el estado final sea de éxito o daño.

El árbol de fallos es un modelo lógico deductivo, que parte del suceso tope para el cual se produce el fallo de un sistema. De una forma sistemática se va desarrollando el suceso tope en los sucesos intermedios que conducen a éste, y a su vez los sucesos intermedios en otros de menor jerarquía, hasta llegar a los sucesos primarios, determinados por el nivel de resolución del análisis posible o



deseable. Este se establece atendiendo a los datos de fallos de que se dispone y/o al alcance que se pretende lograr de acuerdo con los objetivos de estudio. Los sucesos primarios e intermedios se interconectan mediante compuertas lógicas.

## 1.6 Gestión de la calidad

Los clientes necesitan productos con características que satisfagan sus necesidades y expectativas. Estas necesidades y expectativas se expresan en la especificación del producto y son generalmente denominadas como requisitos del cliente. Al decir que un artículo es de alta calidad debe entenderse que cumple todas sus especificaciones, incluyendo la fiabilidad, Así, fiabilidad es calidad a lo largo del tiempo. No es suficiente que un producto cumpla las especificaciones y criterios de calidad establecidos y evaluados durante el proceso de producción, sino que además es necesario que tenga un buen desempeño durante cierto tiempo. **(Gutiérrez, 2004).**

El enfoque a través de un sistema de gestión de la calidad anima a las organizaciones a analizar los requisitos del cliente, definir los procesos que contribuyen al logro de productos aceptables para el cliente y a mantener estos procesos bajo control. **(ISO 9001:2008)**

Con el incremento de las exigencias de los consumidores en relación con la calidad de los productos y servicios, el mantenimiento ha pasado a ser un elemento importante en el desempeño de los equipos y en los resultados de la empresa, cuyo impacto fundamental se manifiesta en los ingresos de la empresa, el comportamiento de los costos, de la productividad y de la disponibilidad de los equipos para la producción. Como parte del sistema de gestión de la calidad, los procedimientos de mantenimiento deben indicar el objetivo de la función mantenimiento dentro de la empresa, como actividad responsable por el aumento de la disponibilidad y fiabilidad operacional de los equipos, obras e instalaciones (especialmente aquellas fundamentales a la actividad fin de la empresa), minimizando costos y garantizando el trabajo con seguridad y calidad. **(Tavares, 2005 )**



En mantenimiento productivo total el aseguramiento de la calidad se refiere a un mantenimiento apropiado de cada parte del equipo o del proceso, con el objetivo de lograr cero defectos al concentrarse en las relaciones entre condiciones del equipo y la calidad del producto. **(Amendola, 2002)**

### 1.6.1 Mejoramiento de la calidad

Las necesidades y expectativas de los clientes son cambiantes y debido a las presiones competitivas y a los avances técnicos, las organizaciones deben mejorar continuamente sus productos y procesos. Una organización que funcione según los requisitos de un sistema de gestión de la calidad genera confianza en la capacidad de sus procesos y en la calidad de sus productos y proporciona una base para la mejora continua, lo que conduce a un aumento de la satisfacción de los clientes. **(ISO 9001:2008)**

El objetivo de la mejora continua es incrementar la probabilidad de aumentar la satisfacción de los clientes. La *mejora de la calidad* es la parte de la gestión de la calidad orientada a aumentar la capacidad de los requisitos de la calidad y la *mejora continua* es la acción recurrente para aumentar la capacidad de cumplir los requisitos. **(ISO 9000:2000)**

El mejoramiento continuo de las prácticas de mantenimiento así como la reducción de sus costos, son resultados de la aplicación del ciclo de calidad total como base en el proceso gerencial. Los conflictos entre clientes y proveedores crean costos y consumen tiempo y energía. La gestión dinámica del mantenimiento comprende la administración de sus interfaces con otras divisiones corporativas. La coordinación en la planificación de la producción, la estrategia de mantenimiento, la adquisición de repuestos, la programación de servicios y el flujo de información entre estos subsistemas eliminan los conflictos en la obtención de metas. **(Amendola, 2002)**



### 1.6.2 Las técnicas estadísticas en el mejoramiento de la calidad

El uso de técnicas estadísticas puede ser de ayuda para comprender la variabilidad y ayudar por lo tanto a la organización a resolver problemas y a mejorar la eficacia y la eficiencia. Asimismo estas técnicas facilitan una mejor utilización de los datos disponibles para ayudar en la toma de decisiones. La variabilidad puede observarse en el comportamiento y en los resultados de muchas actividades, incluso bajo condiciones de aparente estabilidad. Dicha variabilidad puede observarse en las características medibles de los productos y los procesos, y su existencia puede detectarse en diferentes etapas del ciclo de vida de los productos, desde la investigación de mercado hasta el servicio al cliente y su disposición final. Las técnicas estadísticas pueden ayudar a medir, describir, analizar, interpretar y hacer modelos de dicha variabilidad, incluso con una cantidad relativamente limitada de datos. El análisis estadístico de los datos puede ayudar a proporcionar un mejor entendimiento de la naturaleza, alcance y causas de la variabilidad, contribuyendo a solucionar y prevenir los problemas que podrían derivarse de dicha variabilidad, y a promover la mejora continua. **(ISO 9001:2008)**

La Fiabilidad Operacional se basa en análisis estadísticos orientados a mantener la fiabilidad de los equipos, con la activa participación del personal de la empresa. El fin último del análisis de fiabilidad es cambiar el mantenimiento correctivo, no programado y altamente costoso, por actividades preventivas planeadas que dependan del historial de los equipos, y permitan un adecuado control de costos. El comportamiento histórico de las fallas de los equipos se puede hallar utilizando las estadísticas por medio del análisis de fiabilidad. Partiendo del historial de fallas se proyecta la influencia de las actividades del mantenimiento preventivo sobre algunos índices de gestión de los equipos tales como la Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Efectividad Global. **(García, 2003)**

### 1.6.3 El mejoramiento de la Fiabilidad



La Fiabilidad es calidad a lo largo del tiempo, al insertarse en los procesos de la organización, contribuirá a aumentar la capacidad de los requisitos de calidad de los activos de la infraestructura de producción.

El proceso de mejoramiento de la fiabilidad operacional, genera cambios en la cultura de la organización, haciendo que ésta se convierta en una organización diferente, con un amplio sentido de la productividad, con una visión clara del negocio y gobernada por hechos. Cualquier hecho aislado en alguno de los cuatro bloques representados en la figura 1.3 puede traer beneficios, pero si no se tienen en cuenta los demás factores es probable que éstos sean limitados y/o diluidos en la organización y pasen a ser sólo parte del resultado de un proyecto y no de una transformación. **(Molina)**

Figura 1.3. Factores que considera la Fiabilidad para mejoras integrales.

Fuente: Dossier Introducción a la Fiabilidad Operacional. Nivel Básico/ PDVSA.

La variación en conjunto o individual de cualquiera de los cuatro factores, afectará el comportamiento global de la fiabilidad operacional. La fiabilidad operacional es una ruta flexible y a la medida para compañías que buscan la excelencia empresarial y la gerencia de todos sus recursos. Es un proceso de mejoramiento



continuo basado en hechos, alcanzado por una armonía de implantación de herramientas y técnicas basadas en riesgo en la que colaboran todas las partes de la organización. **(Parra)**

## 1.7 Evolución del mantenimiento

La historia del mantenimiento acompaña al desarrollo técnico industrial de la humanidad; a finales del siglo XIX con la mecanización de las industrias surgió la necesidad de las primeras reparaciones, hasta 1914 el mantenimiento había tenido una importancia secundaria y había sido ejecutado por los propios operarios. Con la implantación de las producciones en series durante la Primera Guerra Mundial, donde las fábricas debieron establecer programas de producción mínimos, surgió la necesidad de formar equipos que pudiesen efectuar reparaciones en máquinas en servicio en el menor tiempo posible; éste grupo se subordinaba a la operación y su objetivo básico era ejecutar el mantenimiento, conocido en la actualidad como “mantenimiento correctivo”. Esta concepción se mantuvo hasta la década de 1930, cuando en función de la segunda guerra mundial surge la necesidad de aumentar la rapidez de la producción, por lo que se requiere no solamente corregir fallas, sino también prevenirlas. **(Tavares, 2005)**

En la etapa de la postguerra, con el desarrollo de la industria, la evolución de la aviación comercial y la industria electrónica, los gerentes de mantenimiento observaron que en muchos casos el tiempo empleado para diagnosticar las fallas era mayor que el tiempo empleado en la ejecución de la reparación, creando entonces un órgano asesor llamado “Ingeniería de Mantenimiento”, cuya función era organizar y planificar el mantenimiento preventivo, analizando las causas y efectos de las averías; ésta estructura por el año 1966, con la aparición de las computadoras y equipos sofisticados de medición y protección, pasaron a desarrollar criterios de predicción o previsión de fallas, asociado a métodos de planificación y control del mantenimiento automatizados, reduciendo las tareas burocráticas de los ejecutores del mantenimiento, así se optimizaba el desempeño de los grupos de ejecución del mantenimiento. La “Ingeniería de Mantenimiento”



pasó a tener dos equipos, uno dedicado a la predicción y estudio de fallas y otro a la planificación y control del mantenimiento, que tenía la finalidad de desarrollar, implementar y analizar los resultados de los sistemas automatizados de mantenimiento. Tradicionalmente y hasta la década de los 80 para la mayoría de los países occidentales el objetivo fundamental era obtener la máxima rentabilidad en sus inversiones, sin embargo para la cultura oriental el objetivo fundamental era la calidad de los productos y servicios, por lo que este factor pasó a tener una importancia decisiva en el competitivo mercado internacional. (Tavares, 2005 )

### 1.7.1 Índices Clase Mundial

Los índices clase mundial son aquellos que son utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis índices clase mundial, cuatro se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costos. (Tavares, 2005 )

El tiempo medio entre fallas es un índice que debe ser usado para elementos que son reparados después de una falla y se determina mediante la relación entre el producto del número de elementos por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos elementos, en el período observado. (Tavares, 2005 )

El tiempo medio para la reparación es un índice que debe ser usado para elementos en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación. Se calcula mediante la relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de elementos con falla y el número total de fallas detectadas en esos elementos, en el período observado. (Tavares, 2005 )

El tiempo medio para la falla es un índice que debe ser usado para elementos que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla. Es la relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de elementos no reparables y el número total de fallas detectadas en esos elementos en el período observado. (Tavares, 2005 )

La disponibilidad de equipos representa el porcentaje de tiempo en que el elemento quedó a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su



actividad. Se determina como la relación entre la diferencia del número de horas del período considerado con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo y otros servicios) para cada elemento observado y el número total de horas del período considerado. Este índice también puede ser calculado como la diferencia entre la unidad y la relación entre las horas de mantenimiento y la suma de esas horas con las de operación de los equipos. Otra expresión muy común, utilizada para el cálculo de la disponibilidad de equipos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas es obtenida por la relación entre el tiempo medio entre fallas y su suma con el tiempo medio para la reparación y los tiempos ineficaces del mantenimiento (tiempos de preparación para desconexión y tiempos de espera que puedan estar contenidos en los tiempos promedios entre fallos y de reparación). (Tavares, 2005 )

El costo del mantenimiento por facturación se determina como la relación entre el costo total del mantenimiento y la facturación de la empresa en el período considerado. El costo de mantenimiento por el valor de reposición es la relación entre el costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo y el valor de compra de ese mismo equipo nuevo (valor de reposición). Este índice debe ser calculado para los equipos más importantes de la empresa (que afectan la facturación, la calidad de los productos o servicios, la seguridad o el medio ambiente), ya que es personalizado para el equipo y utiliza valores acumulados, lo que torna su procesamiento más demorado que los demás, no justificando de esta forma ser utilizado por elementos secundarios. (Tavares, 2005 )

### 1.7.2 Mantenimiento y Fiabilidad Operacional

Un mal mantenimiento y baja fiabilidad significan bajos ingresos, incremento de los costos de mano de obra y stocks, clientes insatisfechos y productos de mala calidad. (Tavares, 2005 )

El objetivo básico de cualquier gestión de Mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costes, partiendo de la ejecución que



permite que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. En otras palabras, el mantenimiento debe asegurar que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados, es decir, debe estar centrado en la fiabilidad operacional. En términos generales, el “Mantenimiento Centrado en Fiabilidad” (M.C.C), permite distribuir de forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, tomando en cuenta la importancia de los activos dentro del contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de fallos de estos activos, sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones. El M.C.C sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. **(Amendola, 2007)**

Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario. El equipo desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón coste / beneficio; es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción. **(Amendola, 2007)**

La metodología M.C.C demanda una revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso determinado, sus entradas y salidas, las formas en que pueden dejar de cumplirse tales funciones y sus causas, las consecuencias de los fallos funcionales y las tareas de mantenimiento óptimas para cada situación (predictivo, preventivo, etc.) en función del impacto global (seguridad, ambiente, unidades de producción). **(Amendola, 2007)**

## *Capítulo 2*



## **Capítulo 2: Descripción del Objeto de Estudio y Procedimiento a Seguir.**

### **2.1 Introducción general**

La Empresa Eléctrica Cienfuegos fue creada mediante la Resolución No. 74 de orden y fecha 23 de febrero del 2001, creación que fuera autorizada a través de la Resolución No. 14 del 2001 emitida el 3 de enero del 2001 por el Ministro de Economía y Planificación. Aplica el Perfeccionamiento Empresarial sobre la base de la autorización expedida por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros a través de su Acuerdo No. 3865 de fecha 30 de enero del 2001.

La Empresa Eléctrica Cienfuegos tiene su sede en calle 33 esquina y avenida 56 muy cerca del centro histórico de la ciudad en correspondencia con los lineamientos del estado cubano es propulsora del Uso Racional de la Energía en nuestra provincia como vía para contribuir a los planes de ahorro del país y la reducción de los impactos ambientales que se producen como resultado de los procesos que se desarrollan en la organización.

El reordenamiento de la organización de la producción de bienes y servicios en la Empresa Eléctrica Cienfuegos data de fines de 1997 incluso antes de la primera aplicación del perfeccionamiento empresarial en el año 2001.

No obstante, la experiencia de trabajo después de casi 10 años de aplicación del perfeccionamiento empresarial confirma que es necesario como en todo proceso de mejora continua seguir introduciendo los cambios estructurales y organizativos en la esfera de la organización general y en especial de la producción y los servicios que prestamos, de forma que permitan a tono con las estrategias, adoptar ante cada coyuntura económica internacional y del país, seguir mejorando constantemente los indicadores claves de actuación de nuestra entidad que equivale a decir aumentos de la eficacia y eficiencia y una mejor utilización y control de los recursos materiales, financieros y humanos.



El contenido del Objeto Empresarial de la Empresa Eléctrica Cienfuegos aparece resuelto en la Resolución No. 233 de fecha 27 de Abril del 2006 del Ministro de Economía y Planificación.

El Sistema de Organización General constituye la base del Sistema de Dirección y Gestión e impacta directamente sobre el funcionamiento general de los restantes sistemas componentes del Sistema de Dirección y Gestión.

Es la razón de ser de la organización, la meta que moviliza nuestras energías y capacidades, es la base para procurar una unidad de propósitos en dirigentes y trabajadores con el fin de desarrollar un sentido de pertenencia, es el aporte más importante y significativo a la sociedad, su Misión es:

***“Brindar un suministro de energía eléctrica a los consumidores privados y estatales de forma continua dentro de los parámetros de calidad establecidos según el reglamento del suministro eléctrico.***

Principio o Guía, esencial y perdurable en una organización. Sistema de ideas generales que crean el marco de referencia de lo que una organización aspira a ser en el futuro. Señala el rumbo, sirve de guía en la formulación de las estrategias proporcionando un propósito a la institución. Debe reflejarse en la misión, objetivos y estrategias y se hace tangible cuando se materializa en proyectos, procesos y actividades específicos que deben ser medibles, mediante un sistema de indicadores de gestión muy bien definido. La Visión es revisada todos a los años conjuntamente con la elaboración del Plan Anual, corresponde al Consejo de Dirección, su Visión es:

***“Somos líderes nacionales reconocidos por la excelencia en la prestación del servicio eléctrico, distinguiéndonos en la atención rápida y especializada a nuestros clientes”.***

La Empresa Eléctrica Cienfuegos opera con una estructura de dirección (Ver anexo 1) alineada con la visión y misión de la empresa y conectada con los objetivos estratégicos y de trabajo, su diseño responde en cierta medida al de una



estructura horizontal (Plana) con un perfil de dirección que se encuadra entre consultivo y participativo aunque la tendencia es al participativo.

La empresa materializa el funcionamiento de la dirección participativa de los trabajadores en la gestión empresarial, mediante la creación y funcionamiento de los órganos colectivo de dirección, actividades de intercambios de ideas, de conjunto con la organización sindical correspondiente, comisiones internas para el autocontrol, la solución de problemas y análisis colectivo sobre la gestión entre otras.

El Director General de las empresa y está facultado para crear tantos órganos colectivos de dirección o comisiones de trabajo y autocontrol como se requieran. Los mismos se crearán y extinguirán en correspondencia con las necesidades que surjan en el desarrollo de la gestión empresarial mediante resolución del Director General.

Los órganos que por la presente se establecen en el actual expediente son el resultado de un estudio de los órganos colectivos de dirección que son necesarios.

Los Órganos colectivos de dirección, tendrán como principales características las siguientes:

- a) Son órganos auxiliares de evaluación colectiva sobre los principales temas sujetos a decisiones a tomar en la gestión empresarial.
- b) Los acuerdos que se adopten en los órganos colectivos de dirección se informan al Director General y sólo tienen carácter de obligatorio cumplimiento con la aprobación del Director General o el Consejo de Dirección.
- c) Estos órganos colectivos de dirección no suplantán las funciones de ninguna estructura de la empresa; ellos complementan con el análisis colectivo, dichas funciones. Su composición de miembros es impar.
- d) La ejecución de las reuniones de los órganos colectivos de dirección, deberán ser previa y correctamente preparadas; garantizar que sus participantes conozcan con anticipación los temas a tratar y los ponentes de cada tema. Es imprescindible evitar las improvisaciones en el desarrollo de las reuniones, lo



que no niega la activa participación de sus integrantes en el desarrollo de los análisis que se ejecutan

- e) Como norma debe garantizarse que no exista un exceso en la creación y uso de órganos colectivos de dirección; de manera que se garantice dedicar el mayor tiempo de trabajo al desarrollo y ejecución de los procesos de producción y prestación de servicios, a la solución de los principales problemas que se presentan, al contacto directo con los trabajadores y a la proyección de nuevas medidas organizativas, técnicas y económicas a introducir.
- f) En el desarrollo de las reuniones de los órganos colectivos de dirección es importante controlar el tiempo invertido, a fin de lograr que en el menor tiempo posible se arriben a las principales conclusiones y acuerdos. Procurar desarrollar las reuniones dentro de la jornada laboral, preferentemente en horarios temprano del día. Estas reuniones son de proyección y análisis, constituyen parte del contenido de trabajo de los integrantes; por lo que requiere que sus participantes estén preparados teórico, físico y mentalmente, para luego continuar con las labores normales del trabajo diario. Como norma el tiempo de duración de las reuniones de estos órganos no excede la dos (2) horas. La fecha de las reuniones de los órganos de dirección está prevista según el programa anual de reuniones de la empresa.
- g) Los directivos que presiden las reuniones de los órganos colectivos de dirección, son los máximos responsables de garantizar el desarrollo de reuniones en un ambiente propicio al intercambio de ideas, deberá escucharse con atención los criterios de todos los participantes y utilizar métodos en la conducción de la reunión que garantice el máximo de respeto de los presentes y la disciplina interna de la reunión.

#### Composición de la fuerza laboral

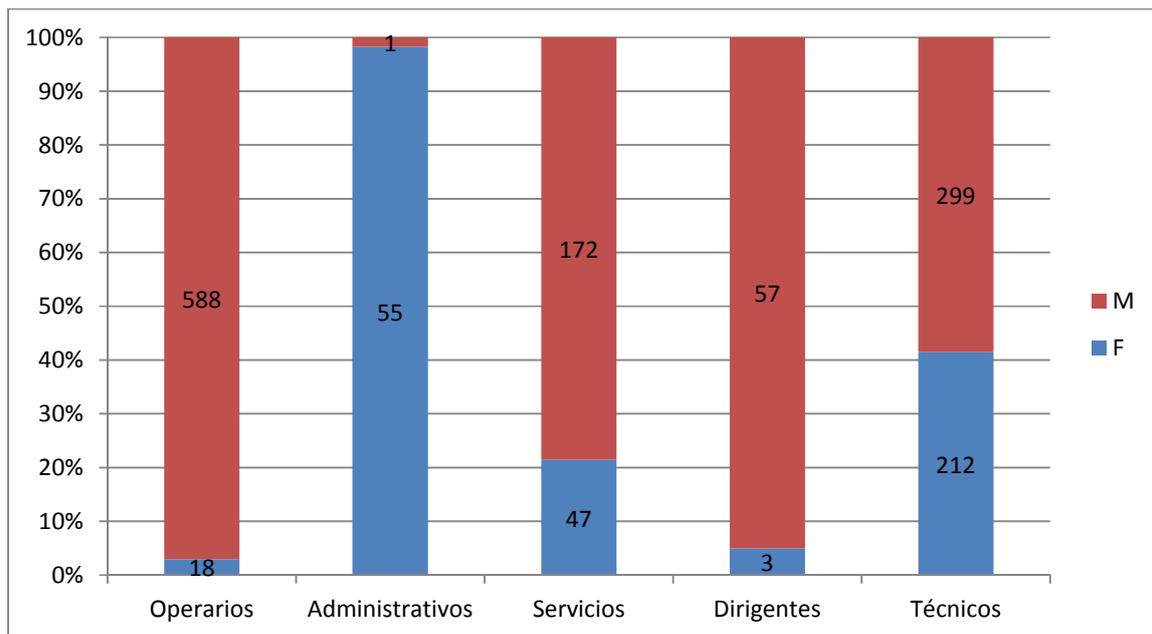
La fuerza laboral que se requiere según la plantilla aprobada es de 1491 trabajadores, pero a pesar de los esfuerzos de la empresa solo están cubiertas



1452 plazas para un 97.4 %. De esta cantidad de trabajadores predomina el sexo masculino, el cual representa el 77 % de la fuerza laboral. La Tabla 2.1 y el gráfico 2.1 muestran la composición de la fuerza laboral por cargos.

**Tabla 2.1: composición de la fuerza laboral por cargos.**

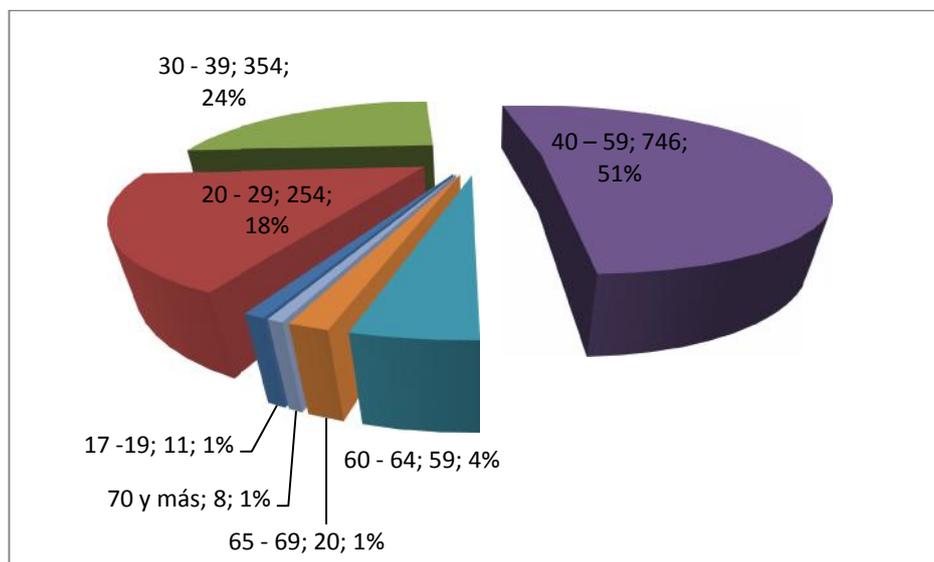
Trabajadores por Categoría Ocupacional y Sexo								
	F	M		F	M		F	M
Operarios	18	588	Servicios	47	172	Técnicos	212	299
Administrativos	55	1	Dirigentes	3	57			



**Gráfico 2.1: Composición de la fuerza laboral por cargos.**

El mayor por ciento de la fuerza laboral se encuentra en el grupo de edades comprendido entre 40 y 59 años de edad, como se puede apreciar en el gráfico 2.2, más de la mitad de los trabajadores tienen 40 años o más, aunque no es muy

preocupante porque existe una buena incorporación de los jóvenes los que representan un 41 % del total de la fuerza de trabajo.



**Gráfico 2.2: Composición de la fuerza laboral por edades.**

## 2.2 Elementos principales de la organización de la producción de bienes y servicios en la Empresa Eléctrica Cienfuegos.

### 2.2.1 Formas de organizar la producción o la prestación de los servicios:

**Al nivel de empresa** está integrada por las áreas de Regulación y Control las cuales brindan asesoramiento metodológico, propuestas y control de políticas, control del cumplimiento de los planes y de los procedimientos generales del sistema que atienden.

Estas áreas pueden organizarse en grupos o equipos de trabajo. Las funciones y facultades de las direcciones de Regulación y Control aparecen en el sistema de Organización General de la Empresa.

**Al nivel de base** están constituidas las Unidades Básicas Eléctricas Municipales (UBEM) y las Unidades Básicas Eléctricas (UBE), las mismas representan la figura empresarial a partir de la cual se organizan los procesos de producción y de prestación de servicios, estas unidades tienen autonomía controlada, en cada municipio de la provincia de Cienfuegos existen una Unidad Básica Eléctrica



Municipal, cuya misión fundamental es brindar un suministro de energía eléctrica a los consumidores privados y estatales de forma continua dentro de los parámetros de calidad establecidos según la ley eléctrica nacional. Las Unidades Básicas Eléctricas forman parte íntegra de la empresa, todos sus ingresos pertenecen a la empresa.

La empresa es un todo integral, todo lo que se produzca por sus unidades, tributa centralmente a los resultados de la empresa. A fin de garantizar el funcionamiento de la estructura organizativa se crean las unidades básicas no municipales con funciones específicas que aseguran el abastecimiento material, el servicio de almacenes, el mantenimiento a los equipos e instalaciones de la empresa, los servicios generales, el mantenimiento y reparación de los medios de transporte automotor, etc.

### **2.2.2 Estructura espacial de la producción y los servicios**

La empresa en su proceso de producción de bienes y servicios que tiene una estrecha interrelación con todas las unidades básicas de conjunto con ellas analiza la situación del servicio y el cumplimiento de los planes

El flujo del proceso productivo y de servicio es diferente en cada unidad y está en función del alcance del servicio y de las especialidades que intervienen en el mismo.

### **2.2.3 Métodos de la organización de la producción y los servicios**

El proceso productivo tiene como producto final un “Correcto e Integral Servicio Eléctrico el cual es posible con la participación de las diferentes unidades básicas que cuentan con la fuerza de trabajo y recursos para cada trabajo, estarán dirigidos técnicamente por un Jefe de Grupo de Distribución en las UBEM y en el resto por el Director de la Unidad Básica Eléctrica o el Jefe de Grupo.

La asignación de la fuerza de trabajo en las UBEM está en función, de la cantidad de clientes, kilómetros de líneas instalados y de otros componentes de las redes eléctricas, aunque para la determinación de la fuerza de trabajo se aplica un balance de carga y capacidad



Los aseguramientos materiales y técnicos fundamentales para el cumplimiento de los planes de trabajos en la UBEM son: los materiales clásicos asociados a las redes eléctricas y al proceso de comercialización de la energía eléctrica, además de los medios de transporte, el combustible, energía eléctrica, computadoras, los software, las normas técnicas, los procedimientos de trabajo y materiales de oficina. Para las unidades básicas eléctricas los aseguramientos materiales y técnicos fundamentales para el cumplimiento de los planes de trabajos se corresponden con la misión asignada, destacándose entre otros, medios de transporte, el combustible, energía eléctrica, computadora, los software, las normas técnicas, los procedimientos de trabajo, materiales de oficina y otros

Los cuellos de botella dentro del proceso productivo de las Unidades Básicas Eléctricas incluyendo las municipales (UBEM) están dados fundamentalmente por: la diferencia de capacidad productiva entre los Grupos de Trabajo y la diferencia de alcance entre los “Proyectos” que demandan más participación de una especialidad que de otra. Este segundo factor es inevitable pues no existen dos proyectos iguales.

Para contrarrestarlos los cuellos de botella, se deben realizar balances de carga-capacidad, del comportamiento de plan de producción que permite balancear el plan de los grupos de trabajo. La cantidad de producción o servicios a ejecutar por los grupos de trabajo y por las unidades está en función de la capacidad horaria que se dispone en cada unidad o grupo. Esta capacidad es directamente proporcional al número de trabajadores en cada caso.

Los principales cuellos de botella dentro del proceso productivo de las UBEM están dados por:

- a) Falta de continuidad de la entrega de materiales, o su llegada desfasada.
- b) Carencia en el mercado de materiales fundamentales en las redes eléctricas.
- c) Baja disponibilidad técnica de los medios de transporte automotor.
- d) Falta de fuerza de trabajo especializada.
- e) Insuficiente parque de equipos de transporte
- f) Roturas de los medios informáticos asignados.



- g) Falta de comunicación empresarial.
- h) Carencia de herramientas, medios de medición, así como otros elementos técnicos y productivos necesarios

Los principales cuellos de botella dentro del proceso de servicio de las UBE están dados por:

- a) Baja disponibilidad técnica de los medios de transporte automotor.
- b) Falta de fuerza de trabajo especializada.
- c) Roturas del parque de computadoras y de otros medios informáticos
- d) Falta de continuidad de la entrega de materiales, o su llegada desfasada.
- e) Carencia en el mercado de materiales fundamentales en las redes eléctricas
- f) Insuficiencia de herramientas, medios de medición, así como otros elementos técnicos y productivos necesarios

Los principales cuellos de botella dentro del proceso productivo de las áreas de Regulación y Control están dados por:

- a) Falta de medios de transporte.
- b) Baja disponibilidad técnica de los medios de transporte automotor.
- c) Falta de fuerza de trabajo especializada.
- d) Insuficiente parque de computadoras y de otros medios informáticos
- e) Entrada de recursos sin secuencia para poder ejecutar sin interrupciones
- f) Poca ejecución de trabajos en caliente
- g) Dificultades con herramientas y medios de trabajo para brigadas y carros de la guardia
- h) Insuficiente uso de la termografía como medio ideal en la prevención de averías
- i) Respuesta lenta de la concertación de contratos económicos lo que demora la solución de problemas vitales de la organización.

Para contrarrestar estos cuellos de botella en cada nivel de dirección se realizan:

- a) Balance de carga-capacidad integral
- b) Situación del Plan Anual.
- c) Estudios de organización



- d) Rediseños de planes de acción.
- e) Realización de diagnósticos.
- f) Análisis de las dificultades y la solución posible.
- g) Perfeccionamiento de Sistemas de Pagos y estímulos
- h) Análisis de los puestos y procesos claves.
- i) Análisis de la innovación tecnológica a fin de sustituir equipos obsoletos y tecnologías.
- j) Organización de los flujos de producción y servicios

#### **2.2.4 Planificación de la producción y los servicios.**

Referente a este tema es preciso garantizar sistemáticamente las consideraciones siguientes:

- a) Elaboración de la documentación (información), técnica de diseño e ingeniería necesaria para la ejecución de la producción y la prestación de servicios, con suficiente antelación a su ejecución, teniendo en cuenta la valoración de los presupuestos de gastos, normas de producción, así como la contratación necesaria de las producciones y servicios.
- b) Determinación de las capacidades disponibles y la plena utilización de las mismas haciendo un uso adecuado de los turnos de trabajo para una correcta explotación de los medios de trabajo y del personal.
- c) Determinación de las necesidades de personal, materiales, de herramientas, medios de medición, así como otros elementos técnicos y productivos necesarios.
- d) Organización sistemática del sistema de suministros y abastecimientos de la empresa

#### **Proceso de elaboración del plan de producción y servicios de la Empresa**

Abarca lo relacionado con la planificación de todos los bienes y servicios que se producen en la empresa (calidad, organización de la producción, utilización de las capacidades, etc.), aunque sólo tenga que reportar a la organización superior una nomenclatura más reducida.



Como regla, los incrementos de los niveles de actividad deben obtenerse por vía intensiva, única alternativa para el desarrollo.

**Las principales tareas a ejecutar en este proceso son:**

- 1) Examen de los indicadores específicos de eficiencia de la actividad, incluyendo la calidad de la producción o servicios. Precisión de las acciones a seguir para su mejoría, considerando los resultados, según corresponda, en las restantes secciones del plan.
- 2) Necesidad y posibilidad de incrementar la calidad de la producción o servicios y de las materias primas, materiales y demás insumos empleados en ella. Medidas técnico - organizativas requeridas para ello.
- 3) Necesidad de sustitución de productos y servicios e introducción de nuevas producciones con mayor valor agregado o servicios de alta calificación. Diversificación.
- 4) Análisis de la demanda existente (Estado, población, Defensa, sus clientes, la exportación y la sustitución de importaciones, la producción intermedia e inversiones con medios propios)
- 5) Los trabajos de mercadotecnia (previsiones de ventas). Posibilidad real técnica y organizativa para satisfacerlas con calidad, a tiempo y a precio competitivo.
- 6) Comparación con las capacidades de producción o servicios de que se dispondrán.
- 7) Confección del plan de producción o servicios en unidades físicas, y proyección económica.
- 8) Precisar (o suscribir, según sea el caso) los contratos económicos con los clientes para garantizar la realización de la producción.
- 9) Se calculan los requerimientos de recursos materiales y naturales necesarios para asegurar los niveles de actividad proyectados, para lo cual debe:
  - a) evaluar las normas de consumo y cartas tecnológicas, según corresponda, comprobar su validez, actualizar las que sean necesarias.



- b) definir las tareas y medidas de ahorro a ejecutar; efecto de la introducción de los resultados de los programas e investigaciones sobre la sustitución de materias primas y materiales;
  - c) examen de los desechos tecnológicos y su reducción, así como el posible destino de los mismos, incluyendo su reciclaje;
  - d) análisis y validación de las normas de inventarios y el ciclo de rotación y determinación de los niveles de inventario;
  - e) examen de los inventarios de productos ociosos y de lento movimiento y establecimiento de las vías para su más rápida liquidación o para minimizarlos, respectivamente;
  - f) el estudio del sistema de registro y control de los recursos materiales y medidas a adoptar para evitar su desvío;
  - g) requerimientos de maquinarias y equipos; precisión de las necesidades de consumo, por tipo de producto, sobre la base de las normas actualizadas;
  - h) precisión del aseguramiento con los suministradores a través de los contratos económicos, priorizando la compra de productos nacionales siempre que cumplan los requerimientos de calidad, precio y competitividad;
  - i) determinación de los recursos monetarios (en divisas y moneda nacional) necesarios para la adquisición de los activos circulantes y su programación en el tiempo.
  - j) planificación de los recursos destinados a los planes de Ciencia, tecnología y Medio Ambiente, Defensa, Inversiones, Seguridad y Salud de los trabajadores
  - k) mejoramiento de sus condiciones de vida y trabajo.
- 10) **El plan de producción y servicios** se relaciona con las restantes secciones del plan:
- a) **mercadotecnia**, al nutrirse de las previsiones de ventas y fijar líneas,
  - b) **portadores energéticos** a través del balance energético;



- c) **ciencia y tecnología y medio ambiente** en la incorporación de los resultados de los programas científicos y la ejecución de las investigaciones y desarrollos; así como en la producción de inversiones con medios propios destinadas al Medio Ambiente;
- d) **Defensa** al incorporar las necesidades de esa plan ;
- e) **Inversiones** por los incrementos productivos derivados de la puesta en explotación de nuevas capacidades, modernizaciones y cambios tecnológicos.

### 2.2.5 Capacidad de producción

Para determinar la máxima capacidad de producción y lo servicios posible en un periodo dado en cada subdivisión (Grupo, brigada, equipo) está relacionada con el fondo de tiempo disponible de la fuerza de trabajo por unidad de producción o servicio, la capacidad instalada, y el plan de producción y servicios

### 2.2.6 Calidad de la producción

En cada segmento de dirección de la empresa se aplica el procedimiento que corresponda para controlar la calidad de la producción y de los servicios, es responsabilidad de la Dirección de Auditoría y Control supervisar garantizar el cumplimiento exacto de este proceso.

### 2.2.7 Organización del aseguramiento material y suministros

La empresa presta especial atención a la organización del aseguramiento material y suministros necesarios, bajo el precepto que sin materias primas, materiales, piezas, accesorios, combustible, medios de medición y otros, no es posible ejecutar los compromisos productivos y de servicio de la empresa.

La UBE de Aseguramiento Logístico tiene la misión de garantizar el flujo de suministros de forma tal que se garantice la secuencia de ejecución de todas las actividades del proceso productivo, así como la calidad de cada suministro que incide en la calidad del servicio, demostrada documentalmente, estableciendo criterios de selección de proveedores en correspondencia con ISO 9001 del 2000, todo ello, sin incumplimientos de las normas de inventarios vigentes.



La UBE de Aseguramiento Logístico organiza el control y despacho de los recursos al resto de las UBEM y UBE, mantiene el reordenamiento de almacenes que propicien una respuesta ágil y oportuna en función de los interés de la producción de bienes y servicios, también es de su responsabilidad optimizar el aprovechamiento de la capacidad en almacenes, mediante el uso con rigor y profesionalidad de las técnicas y normas de la economía de almacenes. Además garantiza la custodia y la conservación de los recursos.

En la concepción de la organización del aseguramiento material y suministros la empresa, aplica el precepto, que los suministros son para incorporarlos en el menor plazo de tiempo al proceso productivo o de servicios y no para almacenarlos durante largos períodos tiempo. Los suministros generan inventarios, que representan recursos financieros inmovilizados, por lo que se debe permanentemente contribuir a eliminar los excesos de inventarios, evaluándose periódicamente el comportamiento de la rotación de los mismos y programar acciones concretas en este sentido, corresponde a la Dirección de Contabilidad y Finanzas y a la UBE de Aseguramiento Logístico supervisar y garantizar el estricto cumplimiento de este proceso y programar acciones concretas en este sentido.

- a) Organizar la actividad energética y su ahorro. (Determinar puestos claves, índices de gastos por puestos de trabajo, niveles de eficiencia, etc.), lograr que los trabajadores participen con sus ideas en el ahorro de energía.
- b) Determinar los plazos de entrega de la producción o la prestación de servicios.
- c) Determinar los tipos de mantenimientos a efectuar, el aseguramiento metrológico necesario en la empresa.
- d) Organizar el sistema logístico implantado en la empresa logrando la adecuada conjugación producción almacenaje y transportación para la comercialización, cumpliendo siempre con los plazos establecidos.

La empresa al diseñar la infraestructura de almacenes utiliza como premisa no caer en el exceso de almacenes y depósitos, así como lograr que estos estén en función de servir al proceso productivo. Almacenar es una actividad necesaria,



pero a su vez costosa, por lo que la determinación exacta de la cantidad de almacenes a utilizar, sus dimensiones y los medios de almacenaje a utilizar constituye una tarea de primer orden desde el punto de vista organizativo, de eficiencia y de control interno.

Los almacenes se organizan en función de asegurar las necesidades de la producción y prestación de servicios para dar una respuesta ágil y oportuna a estas necesidades, garantizando:

- La utilización racional de las capacidades de almacenamiento, aplicando las técnicas de economía de almacenes que corresponda.
- La custodia permanente y condiciones de seguridad, el mantenimiento de los materiales y demás medios en depósito.
- El cumplimiento de las normas de control interno, establecidas para la recepción, inventario y despacho de las mercancías.
- Horarios de trabajo que respondan a las necesidades de la producción o la prestación de los servicios.

La empresa elabora el procedimiento para la organización del aseguramiento material y suministros, el cual entre otros elementos deberá establecer lo siguiente:

- a) Unidad organizativa encargada del abastecimiento material en la empresa.
- b) Composición y estructura.
- c) Proceso de organización de los abastecimientos. Grado de centralización o descentralización de los abastecimientos.
- d) Clasificación y características de los almacenes.
- e) Medios de almacenaje. Clasificación.
- f) Técnicas de almacenaje a emplear.
- g) Control de los inventarios en almacenes.
- h) Documentos de control y firmas autorizadas. Horario de entrega y formas para la entrega de los materiales, materias primas, herramientas, etc.



Las Direcciones de Regulación y Control y todas la Unidades Básicas de la empresa establecen sus demandas a la UBE de Aseguramiento Logístico basados en el presupuesto asignado para los diferentes acápite del mismo en correspondencia a los modelos y plazos establecidos por esa dirección y en base a las normas de consumo para cada actividad.

### 2.3 Organización del mantenimiento

La utilización de un correcto sistema de mantenimiento es una inversión que a futuro garantiza la estabilidad y crecimiento de la empresa, así como continuidad, estabilidad y ritmicidad en el proceso de producción de bienes y de prestación de servicios. Es tarea de primer orden pues los mantenimientos a muebles, inmuebles, medios, equipos e instrumentos de trabajo no puede ser una actividad espontánea, que se active únicamente ante la existencia de roturas e interrupciones. Los planes de mantenimiento tendrán en cuenta el programa ambiental.

Para garantizar el cumplimiento cabal de este proceso en la empresa se actúa según el Reglamento que Organiza el Mantenimiento Sistemático de Inmuebles, Muebles, Medios y Equipos

Es importante para todo proceso de producción de bienes y servicios, donde las maquinarias, equipos e instalaciones son un factor determinante, y necesario garantizar que éstos se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento, por lo cual la empresa elabora su procedimiento para el mantenimiento, donde entre otros elementos establece lo siguiente:

- a) Organización estructural encargada de efectuar los mantenimientos, especificando su funcionamiento.
- b) Tipos de mantenimiento y sus características (mantenimiento preventivo planificado; pre-diagnóstico; reparaciones imprevistas; cíclicas y otros).
- c) Técnicas para el control del gasto de mantenimiento y la calidad de los trabajos.
- d) Métodos para el recibo y entrega de trabajos.



- e) Organización de cada tipo de mantenimiento. A partir de las características del sistema de mantenimiento a aplicar y de la instalación tecnológica de la empresa y sus diferentes áreas.
- f) Plan Anual de Mantenimiento. Especificaciones de la programación y control de los trabajos de mantenimiento
- g) Características del plan de piezas de repuesto. Su clasificación. técnica para su confección.
- h) Organización de la inspección técnica de las maquinarias, equipos e instalaciones.
- i) Sistemas de liquidación de averías e interrupciones.
- j) Procedimientos específicos para los trabajos de altura, excavaciones, vías libres y otros.
- k) Organización de las actividades de lubricación y conservación.

### **2.3.2 Organización de la actividad de mantenimiento a redes de distribución de energía hasta 110 kV**

La UBE Centro de Operaciones, establece la política de esta actividad, la esencia de esta política se basa en la introducción paulatina de técnicas modernas de diagnóstico como vía para la reducción de los costos y la elevación continua de su eficacia y eficiencia

La actividad de pruebas y análisis en redes se ejecuta en cada UBEM bajo la supervisión metodológica y control de la UBE Centro de Operaciones.

De igual modo y bajo la misma forma de dirección metodológica queda en manos de las UBEM las decisiones relativas a los mantenimientos sobre las redes secundarias, bancos de transformadores, servicios y alumbrado público siempre y cuando cumplan con rigor los procedimientos y normativas vigentes para cada actividad, incluyendo el cumplimiento de la disciplina informativa, económica y las regulaciones establecida para el control de los recursos.

Se mantiene la aplicación del mantenimiento predictivo basado en los celajes y los análisis continuos de los índices de interrupciones como vía para la reducción de costos de la actividad de mantenimiento, la identificación oportuna de posibles



averías y su solución en días y horarios que causen la menor afectación posible a nuestros clientes

Este método propicia también ahorro de recursos y evita daños mayores por ocurrencia de fallas, permite también programar reparaciones menores dentro de vías libres programadas. Todas estas ventajas conducen de forma segura a una mayor y mejor disponibilidad de nuestras redes

Se ratifica la exigencia en los partes diarios a brindar por la ejecución de acciones brindando especial atención a aquellas que propicien la:

- a) Disminución de la cantidad y tiempo de duración de las interrupciones en todos los niveles de voltaje
- b) Disminución de las pérdidas técnicas.
- c) Disminución del tiempo de atención a las interrupciones
- d) Reducción del índice de transformadores dañados
- e) Tareas de recapitalización y modernización de redes
- f) Reducción de la cantidad de interrupciones.

Se mantendrá la supervisión de la aplicación de la política de mantenimiento y los métodos de trabajo orientados por las siguientes vías:

- a) Radio conferencia diaria
- b) Análisis mensuales de planes operativos
- c) Reunión mensual de calidad
- d) Análisis diario del comportamiento de indicadores
- e) Auditorias técnicas
- f) Consejo de Dirección
- g) Supervisión de procesos por muestreo ( Alrededor del 25 % )

Como parte fundamental del mantenimiento a las redes eléctricas permanece el enrollado de transformadores

El Sistema de Gestión Comercial (SIGECO) y el Sistema de Gestión de la Distribución (SIGEDI) continúan siendo parte fundamental en el sistema.



La elaboración sistemática del diagnóstico como línea de trabajo es tarea prioritizada dado el avance de la sustitución de equipos en las redes por otros con mucho menor grado de requerimientos de mantenimiento e incrementar especialmente dentro de este el uso de la termografía por la incidencia de este en la prevención de averías

El Grupo Técnico de Líneas tiene la responsabilidad de ejecución de actividades de mantenimiento y solución de averías en redes de transmisión y subtransmisión posibilitando el concentrar los esfuerzos de las UBEM en la distribución primaria, secundaria y servicios con el consiguiente aumento de la calidad y el mejoramiento de los indicadores de interrupciones.

### **2.3.3 Organización de la actividad de mantenimiento a muebles, inmuebles, equipos y otros medios.**

Es función del Director de la UBE Aseguramiento Logístico la elaboración de los planes de mantenimiento así como con la creación de las condiciones necesarias para asegurar el cumplimiento exitoso de los mismos.

Los mantenimientos se planifican para los medios y equipos según los requisitos establecidos por las instituciones u organismos rectores. es preciso garantizar la relación contractual con las empresas u organizaciones que posibiliten la adquisición de los recursos necesarios para realizar el mantenimiento con recursos propios o la ejecución según lo contratado cuando no se cuente con los recursos necesarios para dar estos mantenimientos.

Es responsabilidad del Director de la UBE Aseguramiento Logístico garantizar el plan de mantenimiento anual para cada tipo de equipo, para lo cual a ese fin elabora la propuesta de presupuesto para cada caso de forma que se garantice el cumplimiento exitoso de los mantenimientos de instalaciones y equipamiento no tecnológico de la siguiente manera.

- Equipos de Comunicación
  - Está a cargo del Jefe del Grupo de Informática - Comunicaciones.
- Equipos de Cómputo y otros medios informáticos



- Los de menor complejidad está a cargo del Grupo de Informática y Comunicaciones. Los de complejidad mayor se contratan a terceros.
- Electricidad General
  - Está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central.
- Plomería en General
  - Está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central.
- Equipos de ventilación
  - El mantenimiento ligero está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central, el de mayor complejidad lo ejecuta el Taller de Transformadores
- Equipos de climatización
  - El mantenimiento menor está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central, el de mayor complejidad se contrata a terceros.
- Equipos de Bombeo de agua.
  - El mantenimiento menor está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central, el de mayor complejidad se contrata a terceros.
- Equipos de Iluminación (luminarias)
  - Está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central.
- Mantenimiento civil menor a locales e instalaciones
  - Está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central, el de mayor complejidad es contratado a terceros.
- Mantenimiento civil complejo a edificios e instalaciones
  - Se realiza mediante la contratación con terceros.
- Mantenimiento o reparación de buros, archivos, sillas, puertas, ventanas, falso techo y otros
  - Está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central.
- Mantenimiento o reparación del ascensor
  - El mantenimiento menor está a cargo de la Brigada de Servicios Edificio Central, el de mayor complejidad se contrata a terceros.



## 2.4 Procedimiento para el análisis de fiabilidad en la distribución de la empresa eléctrica de Cienfuegos.

El procedimiento de fiabilidad de la distribución para la empresa eléctrica de Cienfuegos está elaborado sobre la base del Modelo de Fiabilidad de PDVSA. En el anexo 2 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento.

El modelo de PDVSA tiene tres fases en las que se incluyen metodologías y herramientas de fiabilidad cuyos resultados conducen a la empresa al mejoramiento continuo. Básicamente el procedimiento adaptado para la empresa eléctrica mantiene las tres fases e inserta metodologías y especificidades en su aplicación.

En la fase diagnóstico del procedimiento se mantienen las metodologías y la determinación de los indicadores tal como se establece en el modelo de PDVSA; se adecúa la matriz de riesgo a las condiciones de la empresa y se incluye la metodología de las 5W y las 2H para la implementación de los planes de mejora resultantes y el informe de tres generaciones para el seguimiento y control de las mejoras.

En la fase de análisis el procedimiento incorpora las mismas metodologías del modelo de PDVSA, la diferencia está en que éste propone Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCC) e Inspección Basada en Riesgo (IBR) para los equipos de criticidad alta y el procedimiento para los equipos de alta y media criticidad, pues se ha probado que un factor decisivo para variar el nivel de criticidad, es la probabilidad de falla; los restantes factores generalmente deben mantener igual condición de criticidad, es a partir de la aplicación de la IBR y el MCC que se definen las estrategias de mantenimiento e inspección para cada equipo, lo que es muy conveniente para optimizar los procesos de gestión de la infraestructura.

De igual forma se mantienen las metodologías de la fase de optimización, por lo que los datos recopilados y actualizados de las 5W y las 2H, permitirán realizar el análisis costo riesgo beneficio, pues quedará registrado el costo de las acciones de mejoras propuestas para disminuir el riesgo en cada equipo y/o unidad de proceso, requerido en esta fase para evaluar el impacto en el negocio. Con éste



análisis se cierra el ciclo orientando cada vez a la organización hacia la mejora continua.

### 2.4.1 Fase diagnóstico

El objetivo de esta fase es lograr estabilizar el desempeño adecuado de los equipos para el cumplimiento de las funciones de la Unidad de procesos o taller. En esta fase se mitigan riesgos asociados a los problemas y/o desviaciones en los diferentes sistemas y equipos.

#### Determinación de indicadores

Una importante herramienta para prevenir las fallas es el establecimiento y control de los indicadores, un elemento fundamental es que la captura y suministro de datos sea confiable, así la toma de decisiones como resultado del análisis y evaluación tendrá un menor grado de incertidumbre. La “Toma de datos” consiste en realizar la recolección adecuada de los datos para los procesos de análisis, optimización y evaluación de los índices de gestión de fiabilidad y mantenimiento.

*Tiempo Operativo*: intervalo de tiempo durante el cual un equipo está en estado operativo.

*Tiempo Medio Entre Fallas*: es un indicador que representa la fiabilidad, se calcula según la fórmula 2.1 indicada debajo. Hoy se calcula en tablas de Excel para los equipos dinámicos. Se recomienda que se determine para las diferentes clases de equipos, para componentes críticos y para las diferentes plantas.

(2.1)

$TO_i$  = *Tiempos operativos hasta fallar*

$TFS_i$  = *Tiempo fuera de servicio debido a la falla i*

$n$  = *Número total de fallas en el período evaluado*

*Tiempo Fuera de Servicio*: indica el tiempo en el cual el equipo no se encuentra disponible por presentar una falla o una posible incapacidad para cumplir una



función específica, se calcula según la fórmula 2.2. Está formado por el tiempo para reparar (TPR) y el tiempo fuera de control (TFC)

El tiempo promedio fuera de servicio representa la mantenibilidad

(2.2)

*TFS = Tiempo fuera de servicio*

*n = Número total de fallas en el período evaluado*

Se recomienda que se determine para las diferentes clases de equipos, para componentes críticos y para las diferentes plantas.

*Fiabilidad:* probabilidad de que un equipo cumpla su función requerida bajo determinadas condiciones de operación en un período determinado. Este indicador está relacionado con la cantidad de fallas y con el tiempo promedio operativo. Cuando se incrementa el número de fallas y disminuya el tiempo operativo, la fiabilidad será menor. En el capítulo 1 se definen todas las fórmulas para el cálculo de fiabilidad.

*Disponibilidad:* capacidad de un equipo de desempeñar su función requerida bajo determinadas condiciones, en un momento determinado o durante un intervalo de tiempo específico, asumiendo que existan los recursos externos requeridos. Representa el porcentaje del tiempo disponible del uso del activo en un período determinado, la continuidad, se calcula según la ecuación 2.4. Se recomienda que se determine para las diferentes clases de equipos, para componentes críticos y para las diferentes plantas.

$$D = \left( \frac{TPO}{TPO + TFS} \right) \times 100\% \quad (2.4)$$

### **Diagnóstico integral**

El diagnóstico integral por unidades de procesos y talleres permite determinar los problemas que están afectando en mayor proporción el desempeño de las unidades y talleres, provocando impactos en las operaciones, riesgos asociados a la seguridad y afectaciones al medio ambiente.



### 2.4.2 Fase análisis y control

En esta fase se aplican metodologías que permiten estudiar y monitorear el estado de los equipos, definir las causas de fallas y actuar sobre ellas, facilitan que se establezcan las condiciones requeridas para restablecer las condiciones de los equipos de manera eficaz.

#### **Mantenimiento centrado en fiabilidad**

El mantenimiento centrado en fiabilidad (MCC) es la metodología que se debe aplicar a los equipos dinámicos de criticidades alta y media.

Se designa un equipo multidisciplinario de trabajo que se encarga de optimizar la fiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones definidas, estableciendo las estrategias efectivas de mantenimiento, operación e inspección, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de sus elementos a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

El objetivo de ésta metodología es garantizar los estándares de ejecución de cada activo y tiene los siguientes beneficios:

- Permite desarrollar un plan de buenas prácticas de operaciones y mantenimiento que se adapta a las necesidades actuales del negocio y a las condiciones de los activos.
- Identifica tareas predictivas y preventivas técnicamente factibles y costo efectivas.
- Reconoce las reales causas de falla y busca disminuir sus consecuencias.
- Reconoce que al menos un 70% de las causas de falla no se pueden prevenir o predecir, por lo tanto para garantizar la fiabilidad del negocio:
  - Identifica las modificaciones al diseño requeridas
  - Identifica los errores humanos y recomienda correcciones
  - Identifica los requerimientos de capacitación, creación y revisión de procedimientos, supervisión, etc.
  - Identifica planes de contingencia.



- Identifica repuestos críticos.
- Identifica situaciones donde la operación hasta la falla es lo más conveniente.
- Trata con las fallas que están ocurriendo hoy y las que podrían ocurrir mañana.

En la figura 2.6 se muestra la secuencia de pasos para implementar el mantenimiento centrado en fiabilidad.

La aplicación del MCC implica el desarrollo de actividades en el mantenimiento orientadas a la prevención, con tendencia a reducir las actividades correctivas:

Tareas proactivas:

- Tareas a condición, inspección, monitoreo, detección de fallas potenciales para prevenir fallas funcionales y reducir las consecuencias de fallas.
- Tareas de reacondicionamiento cíclico: Equipos revisados y/o componentes reparados a frecuencias determinadas independientemente de su estado en ese momento.
- Tareas de sustitución cíclica: Reemplazo de un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. La frecuencia está determinada por la vida del elemento o edad para la que hay un rápido incremento de la probabilidad de falla.
- Búsqueda de fallas ocultas: Revisar la condición de operatividad de la función oculta, mediante pruebas a intervalos regulares.

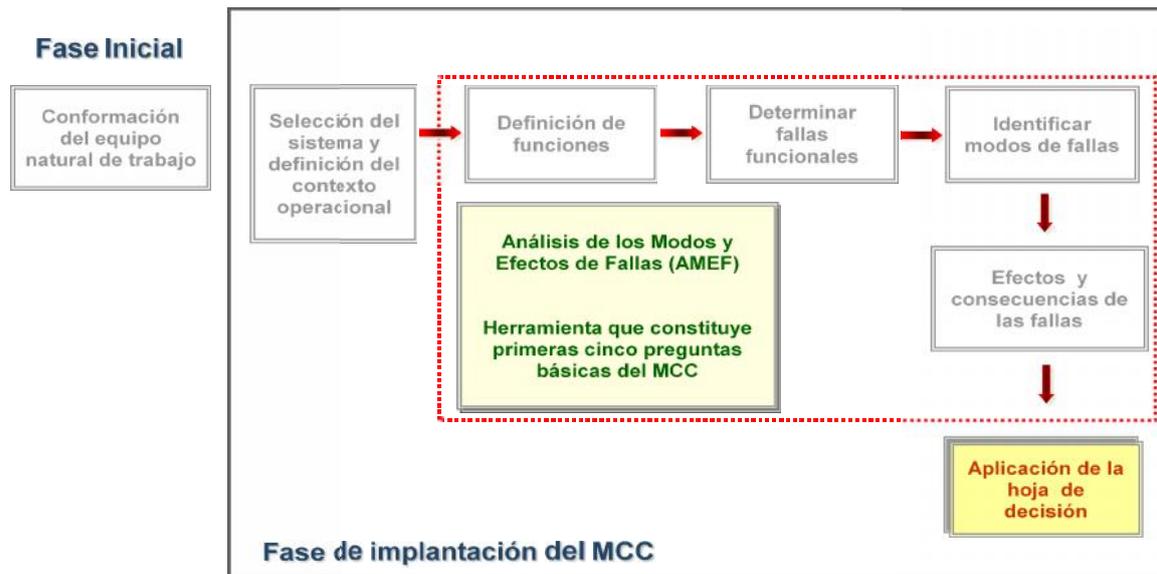


Figura 2.6. Diagrama de Bloques para el Mantenimiento Centrado en Fiabilidad  
Fuente: Dossier Introducción a la Fiabilidad Operacional. Nivel Básico/ PDVSA.

Tareas Reactivas:

- Tareas “a falta de”:
  - Rediseño: Aplica si no se encuentra una tarea de búsqueda de fallas o mantenimiento preventivo que reduzca los riesgos de fallas múltiples, los niveles de alto riesgo ambiental y/o impacto en la seguridad.
  - Ningún mantenimiento preventivo: Sólo si el mantenimiento preventivo es más costoso que el monto involucrado en las consecuencias operacionales y/o el costo de reparar la falla.

### 2.4.3 Inspección basada en riesgo

La inspección basada en riesgos (IBR) evalúa la condición del límite de presión para cada activo y recomienda los niveles de inspección y mantenimiento requeridos para asegurar la integridad mecánica. Aplica a equipos estáticos de criticidades alta y media. Está orientado a establecer los ciclos de inspección óptimos en función de la criticidad de los equipos y de la tasa de deterioro.



Basado en el grado de riesgo asociado con cada activo, se desarrolla el programa de mantenimiento planificado y los paros para inspección de la unidad de procesos.

La IBR se basa en los siguientes conceptos:

- Los activos deben ser examinados en intervalos predeterminados para asegurar la integridad mecánica del activo y del proceso.
- Los factores que influyen en la tasa de deterioro del activo se deben monitorear para determinar procedimientos de inspección eficaces y proactivos, y los intervalos de inspección.
- La combinación de los intervalos de inspección mayor, con el seguimiento apropiado de las actividades en operación constituyen la base fundamental para un programa eficaz de inspección.

La metodología IBR permite obtener los siguientes beneficios:

- a) Identificar y controlar riesgos que están presentes en las plantas.
- b) Determinar el impacto total asociado a la ocurrencia de cada evento de falla.
- c) Cuantificar los niveles de riesgo para la toma de decisiones.
- d) Recomendar los niveles de inspección y mantenimiento requeridos para asegurar la integridad mecánica de acuerdo al nivel de riesgo.
- e) Evaluar el impacto sobre el riesgo de acciones como:
  - Modificación de los procesos.
  - Cambios de metalurgia.
  - Instalación de válvulas de aislamientos.
  - Instalación de sistemas de detección y mitigación.

#### **2.4.4 Análisis causa raíz**

El análisis causa raíz (ACR) permite identificar las causas raíces desconocidas que originan u originaron las fallas en los sistemas, permitiendo adoptar acciones



correctivas o preventivas con el fin de mejorar la fiabilidad y reducir costos por pérdidas de oportunidad.

Se deben aplicar ACR cuando:

- Se presentan eventos no deseados con alta frecuencia (problemas crónicos)
- Se presenta eventos esporádicos que generan altas consecuencias.
- Los costos de operación no se ajustan a la realidad.
- Los costos de mantenimiento correctivo son muy elevados.
- Se desea conocer por qué ocurre un evento indeseable (accidentes e incidentes)

Beneficios de la aplicación de ACR:

- Mejora la eficiencia de los proceso a través de la prevención y/o eliminación de fallas frecuentes.
- Reduce los costos de reparación mediante la identificación y corrección de fallas crónicas.
- Disminuye la cantidad de defectos en los productos.
- Mejora los costos operacionales y los tiempos de operación.
- Mejora la capacidad de producción (identifica restricciones).
- Disminuye la posibilidad de accidentes.
- Minimiza las fallas humanas.

En la figura 2.7 se representan los pasos para la aplicación de esta metodología.

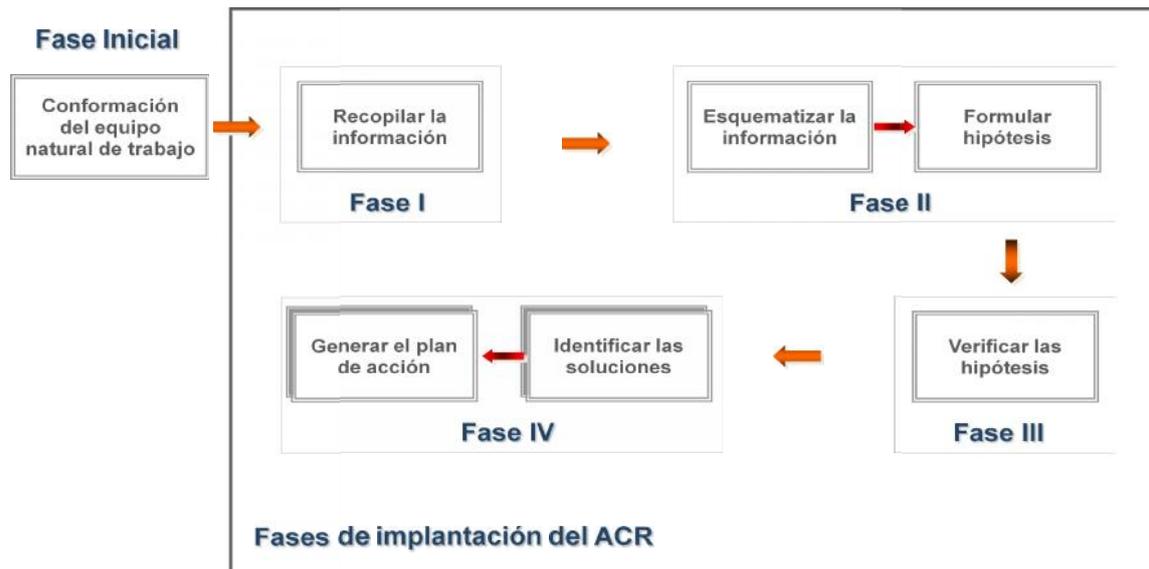


Figura 2.7. Diagrama de Bloques para el Análisis Causa Raíz

Fuente: Dossier Introducción a la Fiabilidad Operacional. Nivel Básico/ PDVSA.

Para realizar los ACR, se aprovechan las herramientas y facilidades existentes en la tales como: Informaciones desde la WEB DCS, Exaquantum, Quality Companion y el Software para la gestión de no conformidades e incidentes.

#### 2.4.5 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF)

Es un método esencialmente cualitativo, puede ser aplicado por un analista independiente, pero es conveniente su realización por parte de un equipo de trabajo, para aprovechar la sinergia del grupo en las sesiones de trabajo colectivo. Durante las sesiones cada miembro del equipo viene con una preparación previa del equipo tecnológico y el análisis se va conformando con el consenso que resulte del debate, moderado por el líder del equipo.

Primeramente se definen los objetivos y alcance del estudio, y se reúne la documentación técnica y registros del equipo a estudiar.

El análisis de modos y efectos de fallas recorre íntegramente el equipo y todos sus componentes y plantea todas las alternativas de fallo de cada componente (modos de fallo). Para cada modo de fallo se identifican las posibles causas y los efectos



sobre el equipo, indicando todos los posibles medios por los cuales el equipo puede fallar.

Se analizan las formas de detección existentes y las posibilidades de recuperación del fallo. Los fallos individuales son considerados como eventos independientes y analizados por separado, aunque el método permite considerar fallos simultáneos de dos componentes, como resultado de una causa única, determinada por factores de acoplamiento entre ambos (insuficiencias comunes de diseño, montaje, calidad de los materiales empleados, mantenimiento, etc.).

Resulta conveniente evaluar de forma cuantitativa la criticidad de los efectos de los fallos de acuerdo con su nivel de severidad para el funcionamiento del equipo, del sistema y de la instalación, con la frecuencia de ocurrencia según los históricos de fallas registrados y de acuerdo con la detección de cada causa de falla, con esto se determina el número de prioridad del riesgo (NPR). Así se pueden fundamentar las medidas para prevenir el fallo y/o contrarrestar sus efectos y se establecen las acciones correctivas sobre cada causa, identificando áreas, fechas y responsables de ponerlas en funcionamiento. Esto es decisivo para el programa de mejoramiento continuo. Todas las acciones deben llevar hacia una reducción significativa de la magnitud del número de prioridad de riesgo. Posteriormente se deben evaluar los resultados de las acciones correctivas aplicadas y calcular el número de prioridad de riesgo, evaluando las acciones a fin de estar seguros de que ellas realmente llevaron a una mejora. Para constatar la mejora el nuevo valor de NPR debe ser significativamente menor que el original. En la tabla 2.2 se muestra el contenido básico que se registra durante el desarrollo del FMEA.

Tabla 2.2. Registro de Análisis de Modos y efectos de Fallas (AMFE)

Empresa Eléctrica de Cienfuegos									
Código del Equipo:					Función:				
Equipo de Trabajo:									
Objetivo del estudio:									
Componente	Modo	Efectos del S	Causas del F	Formas D	NPR				



	de falla	modo falla	de	modo falla potencial	de	de detección		

Fuente: Ingeniería de Fiabilidad / 2003. Jorge Acuña

Esta plantilla tendrá toda la información respecto a los diversos modos de falla y sus efectos. En esta se desglosan cualitativamente los modos, efectos y causas de falla potencial por los que un activo puede fallar; en las columnas S, F y D se evalúa de forma cuantitativa la severidad, frecuencia y detección de cada causa de falla y se determina el NPR que en la etapa de evaluación será re calculado para verificar si las acciones llevaron realmente a una mejora.

# *Capítulo 3*



## Capítulo 3: Análisis de la Fiabilidad en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos.

La implementación de herramientas de fiabilidad es hoy para la Empresa Eléctrica de Cienfuegos un reto, teniendo en cuenta lo vital que resulta la continuidad del servicio eléctrico para el desarrollo y el bienestar del pueblo. En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del procedimiento explicado en el capítulo 2.

### 3.1 Indicadores de Fiabilidad

La determinación de indicadores ha sido una herramienta básica para el equipo de trabajo de fiabilidad, debido a la necesidad de recopilar la información requerida, reunir suficientes datos en el tiempo, crear las bases de datos y estudiar los métodos idóneos para la determinación de los indicadores. Para el presente estudio se utilizan los datos de las redes de distribución almacenados desde enero de 2009 hasta la actualidad.

#### 3.1.1 Fuente de datos de mantenimiento y fiabilidad.

En la Empresa eléctrica de Cienfuegos tradicionalmente se registran los datos técnicos de los equipos, pero resulta muy difícil obtener los datos de mantenimiento y algunos de fiabilidad para determinar indicadores. En los procedimientos de trabajo del sistema de calidad están definidos los modos de fallas de los equipos de y las causas más comunes. Los datos se registran en el Sistema de Gestión de la Distribución SIGEDI. En este sistema no se registran aún todos los datos de falla, aunque tiene flexibilidad suficiente para procesar los datos históricos, procesar los datos de fallas e introducir nuevos campos para completar los datos requeridos.

La cantidad de defectos mensuales que se han registrado, se presentan en el gráfico 3.1, a través de un gráfico de control de cantidad de defectos (gráfico c),



del cual se puede observar que no existe un estado de control estadístico, ya que existen 9 puntos fuera de los límites de control y se presentan 11 secuencias inusuales, cumpliendo con la regla de ser grupos de 3 observaciones con valores más allá de 2 sigmas a un mismo lado de la línea central y además se cumple el patrón de conjuntos de 5 observaciones con 4 de ellas más allá de una sigma en 3 ocasiones, lo cual hace un total de 21 puntos especiales, de 40 totales. Además se calcula que el límite superior de 3,0 sigma es de 90,9939 y el inferior 42,0561, con una media de 66.525 defectos por meses.

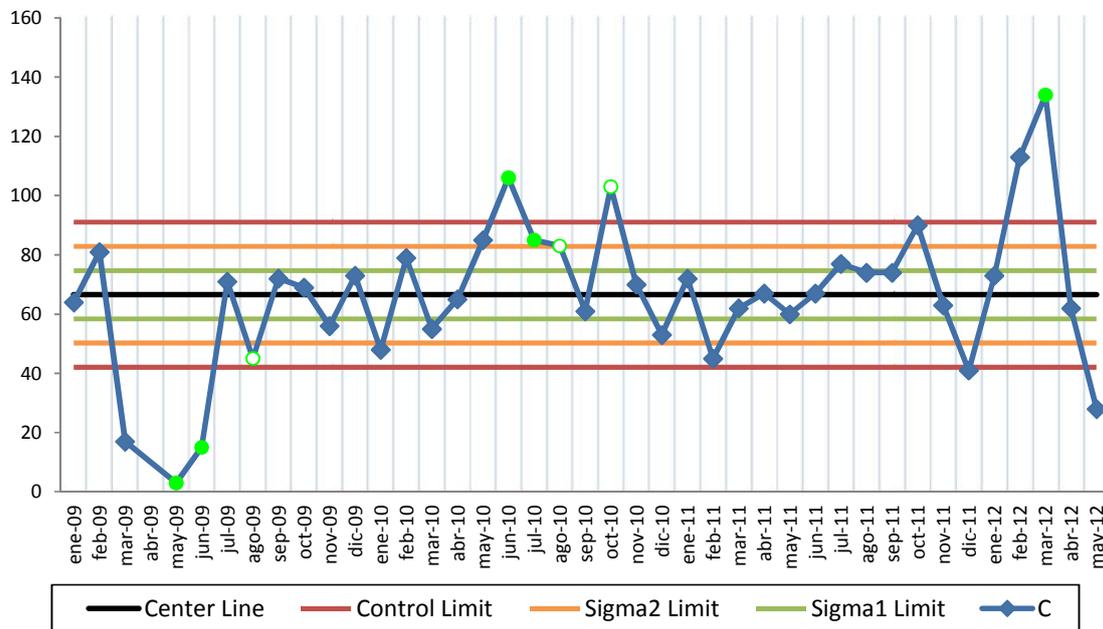


Gráfico 3.1: Carta de Control c, para cantidad de defectos mensuales en la Distribución Eléctrica de Cienfuegos, Fuente: Elaboración Propia

Para poder utilizar este gráfico los datos deben seguir una distribución de Poisson, lo cual se demuestra a partir de las pruebas de bondad de ajuste realizadas, según la prueba Chi-cuadrada, el valor de p es 0.4158 el cual es mayor que la significación de contraste 0.05, por lo que no se puede rechazar la idea de que los defectos mensuales siguen una distribución de Poisson con un 95 % de confianza.



A partir de los datos proporcionados por el SIGEDI se procede a investigar el estado de la fiabilidad en la empresa, para ello se emplean los registros de fallas, analizados a través de gráficas de Pareto.

Al análisis de los indicadores más importantes para la evaluación de la fiabilidad de la distribución en las redes eléctricas es el Tiempo de Interrupción al Usuario (TIU), este tiempo es llevado en los datos del Sistema de Gestión de la Distribución (SIGEDI) en el consolidado de los circuitos primarios. Sin embargo, está ligado a interrupciones en los Niveles primarios, secundarios y de servicios, por lo que se hace necesario determinar en cuál de los niveles se tiene una mayor influencia para los TIU. El método de análisis empleado para este fin es el de la regresión, la cual se realiza según los datos de las interrupciones por niveles y su influencia en los intervalos de TIU calculados a partir de las frecuencias de ocurrencia.

Tabla 3.1: Frecuencias para el Tiempo de Interrupción al Usuario

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0,0		8	0,0842	8	0,0842
1	0,0	9,45	4,725	54	0,5684	62	0,6526
2	9,45	18,9	14,175	10	0,1053	72	0,7579
3	18,9	28,35	23,625	6	0,0632	78	0,8211
4	28,35	37,8	33,075	4	0,0421	82	0,8632
5	37,8	47,25	42,525	2	0,0211	84	0,8842
6	47,25	56,7	51,975	3	0,0316	87	0,9158
7	56,7	66,15	61,425	2	0,0211	89	0,9368
8	66,15	75,6	70,875	0	0,0000	89	0,9368
9	75,6	85,05	80,325	0	0,0000	89	0,9368
10	85,05	94,5	89,775	0	0,0000	89	0,9368
11	94,5	103,95	99,225	0	0,0000	89	0,9368
12	103,95	113,4	108,675	2	0,0211	91	0,9579



13	113,4	122,85	118,125	0	0,0000	91	0,9579
14	122,85	132,3	127,575	2	0,0211	93	0,9789
15	132,3	141,75	137,025	0	0,0000	93	0,9789
16	141,75	151,2	146,475	0	0,0000	93	0,9789
17	151,2	160,65	155,925	0	0,0000	93	0,9789
18	160,65	170,1	165,375	0	0,0000	93	0,9789
19	170,1	179,55	174,825	1	0,0105	94	0,9895
20	179,55	189,0	184,275	1	0,0105	95	1,0000
	mayor de	189,0		0	0,0000	95	1,0000

Esta tabulación de frecuencias dividiendo el rango de TIU en intervalos del mismo ancho, y cuenta el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación en el gráfico 3.2.

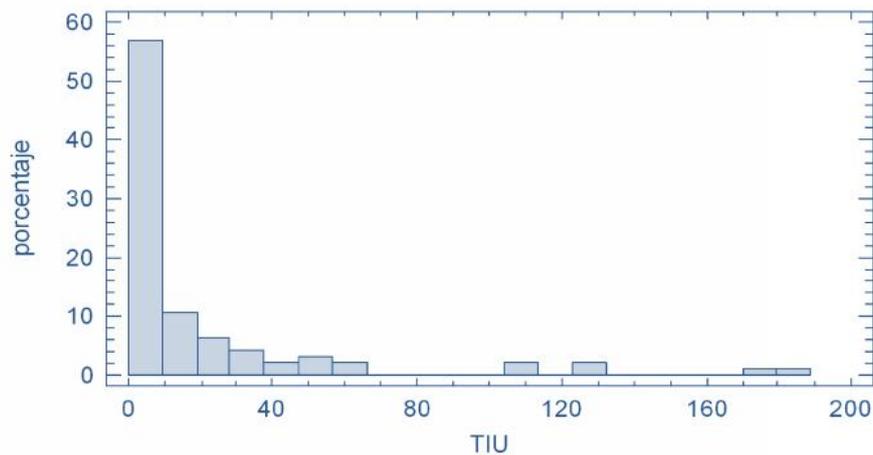


Gráfico 3.2: Histograma de Frecuencia para los Tiempos de Interrupción al Usuario

Estas clases que se calculan, son utilizadas para realizar una regresión weibull con el fin de determinar en qué medida influyen las interrupciones en los circuitos

primarios, secundarios y de servicios en las clasificaciones de los TIU. Los resultados de la regresión se encuentran en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Modelo de Regresión Weibull Estimado para los TIU.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	LC Inferior 95,0% Límite de Conf.	LC Superior 95,0% Límite de Conf.
CONSTANTE	-0,038558	0,10556	-0,245452	0,168336
Int Primarias	0,0102784	0,00365493	0,00311481	0,0174419
Int_Seccund	- 0,00187334	0,00112465	-0,00407761	0,000330931
Int_Serv	0,0015056	0,000228211	0,00105831	0,00195289
SIGMA	0,58918	0,0434629	0,509866	0,680832

Para analizar la influencia de cada uno de los parámetros se realizan la pruebas de Verosimilitud, como se puede apreciar en la tabla 3.3, las interrupciones secundarias no son estadísticamente significativas para la clasificación de los TIU, ya que su valor crítico de probabilidad no es menor que 0.05.

Tabla 3.3: Pruebas de Razón de Verosimilitud para el modelo ajustado

Factor	Chi-Cuadrada	GI	Valor-P
Interrupciones Primarias	8,71436	1	0,0032
Interrupciones Secundarias	2,63594	1	0,1045
Interrupciones Servicios	36,4795	1	0,0000

Los resultados de ajustar un modelo de regresión para el tiempo de falla con respecto a las interrupciones primarias, secundarias y de servicios. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Clasif} = \exp(-0,0386 + 0,010 * \text{Primarias} - 0,0019 * \text{Secundarias} + 0,0015 * \text{Servicios})$$



Lo que permite demostrar que la mayor influencia en las clasificaciones de los TIU están relacionadas en primer lugar con las interrupciones en el nivel primario, luego con el de servicio y por último y menos significativas por las fallas en los niveles secundarios. Para mayor detalle se puede ver el anexo 6.

Para el análisis de los circuitos primarios, inicialmente se muestran la incidencia de la fallas por estructura administrativa, para determinar de esta forma cual es la que presenta mayor número de fallas durante el período estudiado. Resultando, como se puede ver en la figura 3.2 que la mayor cantidad de problemas ocurren en la UEB Cienfuegos, OBE Provincial Cienfuegos, Dirección de Distribución, UEB Rodas y la UEB Lajas.

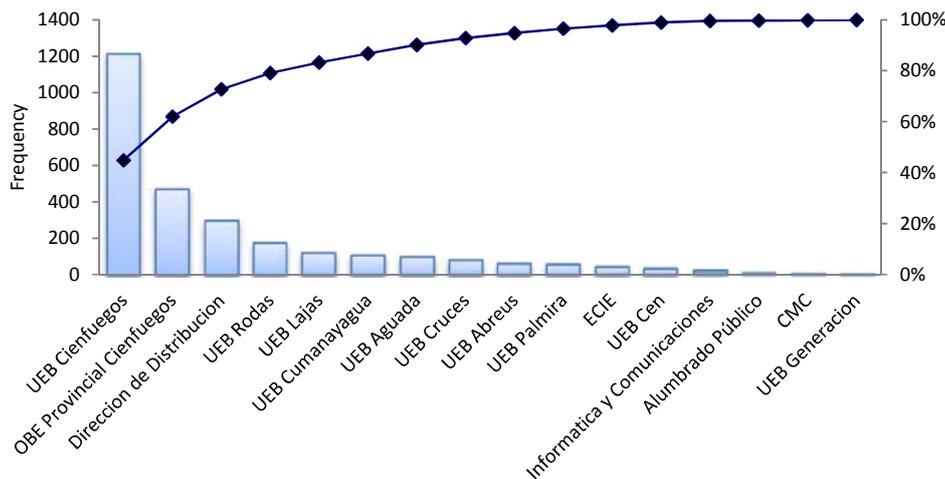
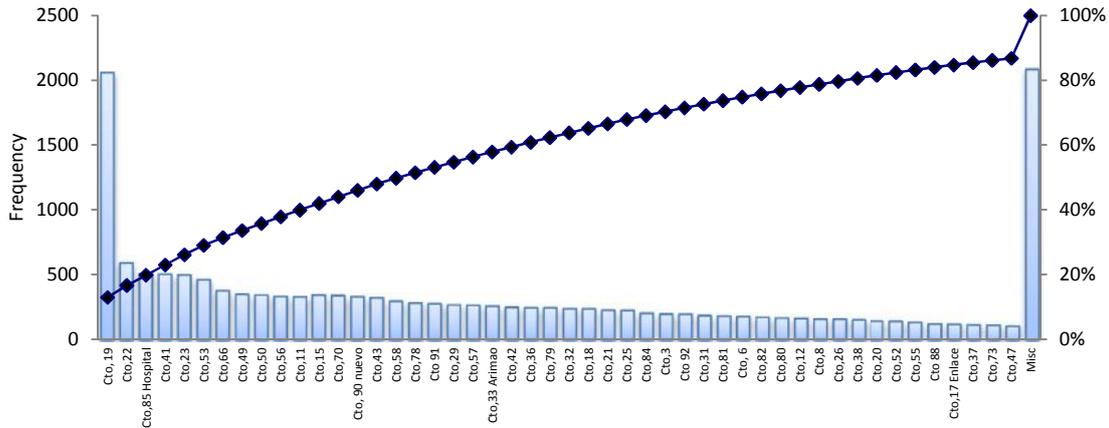


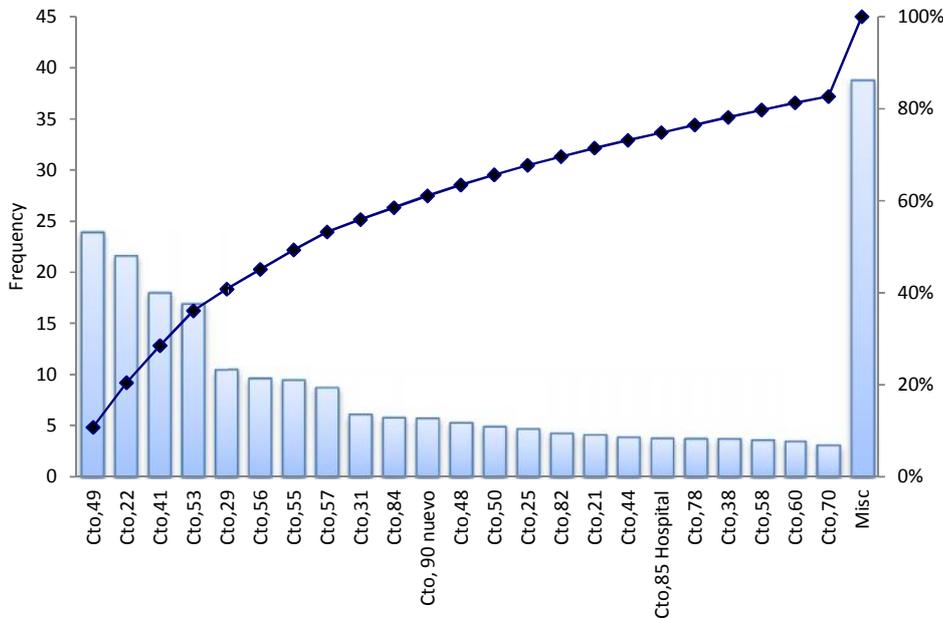
Figura 3.2: Frecuencia de fallas por estructura administrativa en la empresa Eléctrica de Cienfuegos; Fuente: Elaboración propia

En el último año se reportaron un total de 15 992 interrupciones, de las cuales 402 fueron en los circuitos primarios, 3357 en los circuitos secundarios y 12 233 en los niveles de servicios, teniendo en cuenta que existen en la provincia un total de 95 circuitos primarios, de los cuales se derivan 3592 circuitos secundarios, para poder estudiarlos con detenimiento se decide por parte del equipo de mejora, seleccionar los más problemáticos.



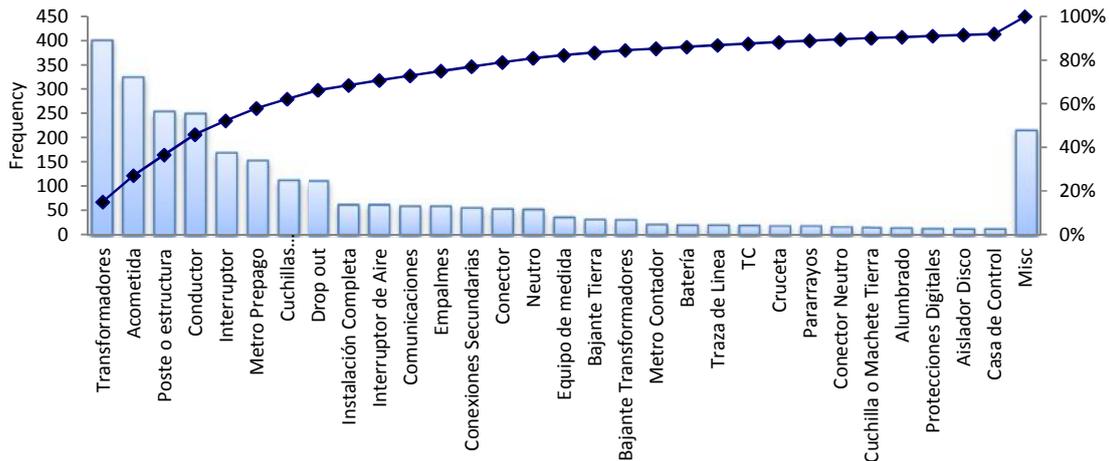
**Gráfico 3.3: Gráfica de Pareto para las interrupciones totales en los circuitos primarios**

Del gráfico 3.2 salta a la vista inmediatamente el circuito 19, el cual tiene un nivel de interrupciones muy superior a los demás circuitos. Este circuito tiene un voltaje de 13.8 kV y se encuentra en Cienfuegos, además cuenta con un total de 149 transformadores agrupados en 124 bancos, distribuidos a lo largo de 18 km de líneas. Sin embargo, no es este circuito uno de los que más Tiempo de Interrupción al Usuario (TIU) ha reportado, como se puede ver en la el gráfico 3.4.



**Gráfico 3.4: Pareto para los TIU reportados por circuitos primarios**

A partir de las gráficas de Pareto de las figuras 3.2; 3.3 y 3.4, no es posible determinar un conjunto de circuitos que puedan representar el 80 % de los defectos, ya que no se cumple correctamente el principio, por lo tanto los análisis de los componentes que fallan, deberá hacerse de forma general.



**Figura 3.5: Frecuencia de fallas por elementos en la empresa Eléctrica de Cienfuegos; Fuente: Elaboración propia**

A partir de los datos proporcionados por el SIGEDI, se pueden conocer también, los elementos que están teniendo una mayor incidencia en las fallas reportadas, para de esta forma poder analizar consecuentemente dónde los elementos conocidos como malos actores en el procedimiento. A partir del análisis de Pareto que se muestra en la figura 3.5, se puede constatar que los elementos más conflictivos del total de 95 componentes que se utilizan, son los siguientes:

- Transformadores
- Acometida
- Poste o estructura
- Conductor

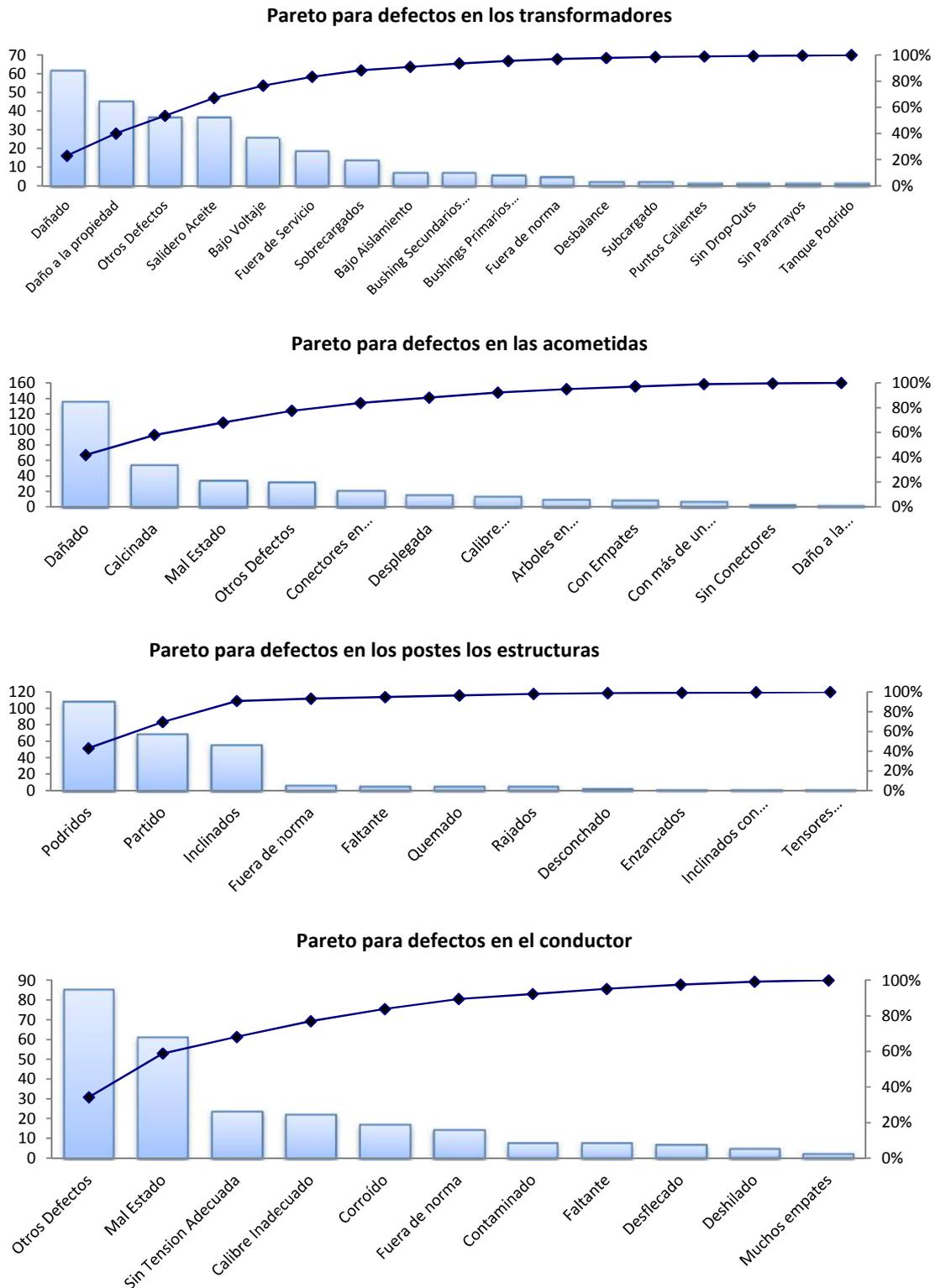


Figura 3.4: Gráficos de Pareto para las sub-causas de los Elementos más fallados

Fuente: Elaboración propia



En la empresa eléctrica de Cienfuegos existe como parte del sistema de gestión de calidad un procedimiento, el UR-BD 0212, en el cual se definen los distintos tipos de interrupciones que pueden ocurrir en los circuitos, clasificándolas según corresponda por cada tipo de de instalación, como se puede ver en la siguiente tabla, las interrupciones tienen un número clave y no necesariamente todas pueden estar presentes en todas las instalaciones, las que pueden ser, Circuitos primarios, Circuitos Secundarios, Circuitos de Servicios, redes de 110 kV, redes de 33 kV, Sub-Estaciones de 110 kV y Sub-estaciones de 33kV.

**Tabla 3.1: Clasificación de las interrupciones y correspondencia con las instalaciones.**

Interrupciones	Clave	Prim.	Secund.	Serv.	110	33	SE 110	SE 33
Voluntarias	1	x	x		x	x	x	x
Estructuras	2	x	x	x	x	x	x	x
Aislamiento	3	x			x	x	x	x
Conductor	4	x	x	x	x	x		
Crucetas y Herrajes	5	x	x		x	x	x	x
Falso contacto	6	x	x	x	x	x	x	x
Aterramiento y Shield	7	x	x		x	x	x	x
Equipos	8	x	x	x	x	x	x	x
Rayos	9	x	x	x	x	x	x	x
Árboles	10	x	x	x	x	x		
Operación defectuosa o errónea.	11	x			x	x	x	x
Fallas del sistema	12	x			x	x	x	x
Falla en nivel inferior.	13	x	x	x	x	x	x	x
Otros agentes medioambientales	14	x	x		x	x	x	x
Agentes externos	15	x	x	x	x	x	x	x
Desconocidas	16	x			x	x		

En el anexo 3 se explican las sub-causas fundamentales que se pueden presentar. Para una mejor comprensión de los códigos que se emplean en el

procedimiento UR-BD 0306, se muestra a una tabla en el anexo 4, donde se explican los códigos y para las instalaciones estudiadas.

### 3.2: Análisis de la probabilidad de fallos

Para el análisis de la probabilidad de fallos existe primeramente un problema, no se tienen contabilizados los tiempos de trabajo hasta el fallo de los elementos que conforman las redes, lo cual dificulta que se puedan calcular los índices tradicionales de fiabilidad, en este caso, se decide calcular la probabilidad de fallas a partir de los datos generales, esta forma de cálculo no permite conocer qué vida media residual tiene un equipo determinado, pero si permite conocer cuál es la probabilidad de que en un día ocurra una falla, a partir de los datos históricos de 40 meses, desde enero de 2009 hasta abril de 2012.

Como se comentó en el epígrafe anterior, la cantidad de fallas en un mes sigue distribución de Poisson con parámetro Lambda igual a 66.525, por lo que se pueden construir las funciones de probabilidad características, como son la función de densidad y la función de probabilidad acumulada, las que se presentan en las figuras 3.5 y 3.6 respectivamente.

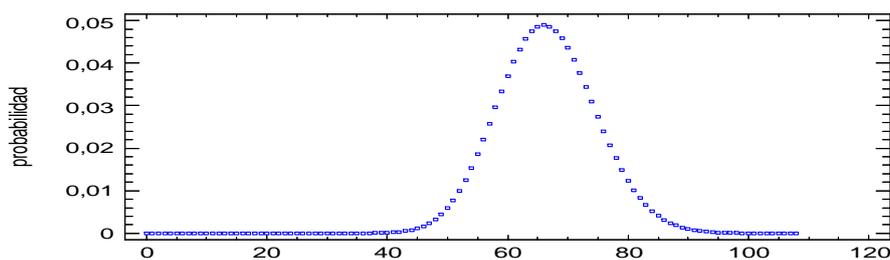


Gráfico 3.5: Función de densidad de Fallas en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos

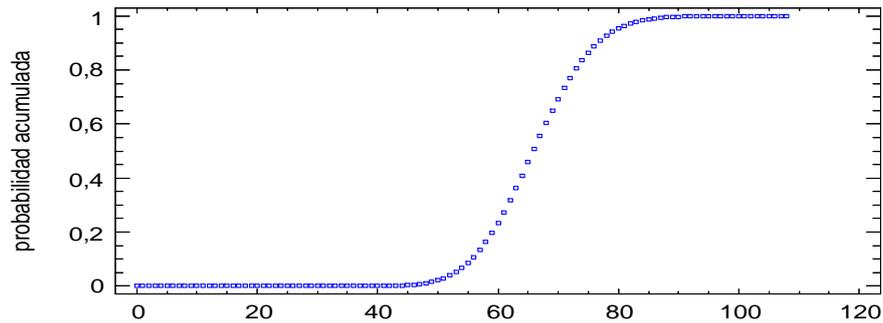


Gráfico 3.5: Función de Probabilidad de Fallas acumulada en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos

A partir de estos resultados se pueden obtener las áreas de colas, con las que se pueden programar las actividades de atención a averías, ya que las probabilidades calculadas indican que es muy poco probable que los fallos en un mes sean menores de 48 o mayores de 86. Para un análisis más detallado se puede ver el anexo 7.

Tabla 3.2: Valores de las Áreas de Cola para los percentiles de la función de fallos

Percentiles	0,01	0,1	0,5	0,9	0,99
Dist. Poisson (66.525)	48	56	66	77	86

En el epígrafe anterior, se constató que los elementos más fallados en el periodo estudiado, son los transformadores, por lo que se realiza un análisis más detallado de los fallos de estos equipos. Ya en el gráfico 3.4, se plantearon de forma general las causas de fallas de los transformadores, pero se pudieran detallar más teniendo en cuenta los tipos de transformadores, pues existen los de Distribución, Transmisión y Sub-transmisión, ver gráfica 3.6.

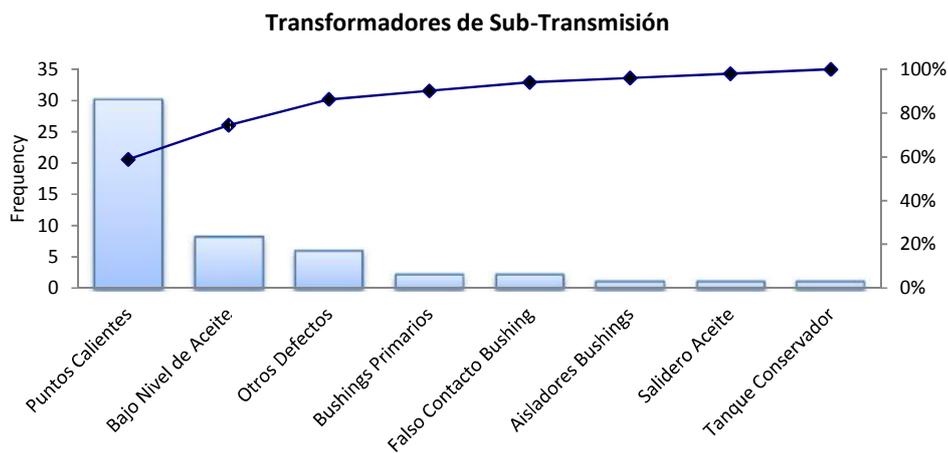
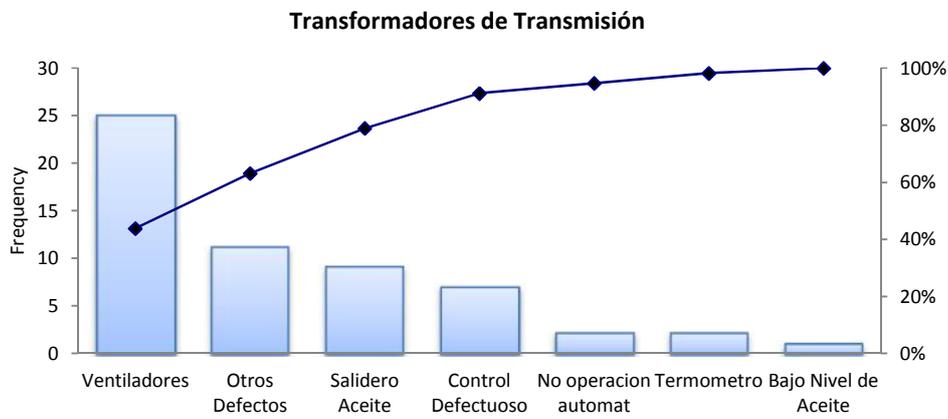
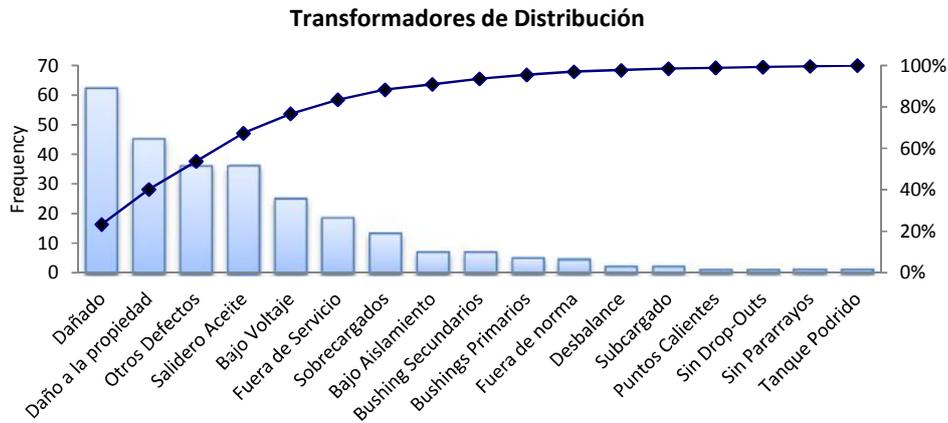


Gráfico 3.6: Causas de fallas por tipos de transformadores.



Con los datos proporcionados por el Sistema de Gestión de la Distribución, se pueden estimar las probabilidades de ocurrencia de los fallos. Para ello se analizan las distribuciones de probabilidad que siguen los datos, para este fin se emplea el software Statgraphics 15 Centurion, empleando el método de bondad de ajuste por la prueba Chi-cuadrada; la cual divide el rango de la variable analizada en intervalos no solapables y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado con base en la distribución ajustada.

Los estadísticos de contraste obtenidos para el análisis de las fallas de los tres tipos de transformadores estudiados, superan el valor del estadígrafo de contraste p-valor igual a 0.05, como se muestra a continuación en la tabla 3.3, la cual además incluye los valores de probabilidad de ocurrencia del evento,

Tabla 3.3: Ajuste a las distribuciones para los Transformadores estudiados.

Tipo de Transformador	Distribución	Transmisión	Sub-transmisión	General
Distribución de Probabilidad	Geométrica	Geométrica	Geométrica	Geométrica
probabilidad del evento	0.178	0.473	0.044	0.24
P-valor	0.23	0.773	0.47	0.49

El uso común de esta función está generalmente definido como tiempo de espera hasta que ocurra el primer éxito en una secuencia de ensayos Bernoulli independientes. En este caso particular esta función se define como la cantidad de días hasta que aparezca un fallo. De esta forma se estiman las funciones de densidad, las que se presentan en los gráficos 3.6 al 3.9.

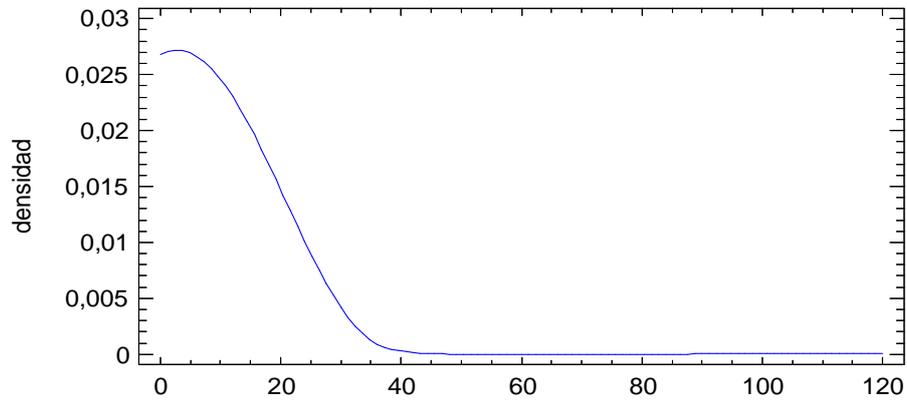


Gráfico 3.6: Función de densidad suavizada para los fallos de los transformadores en general.

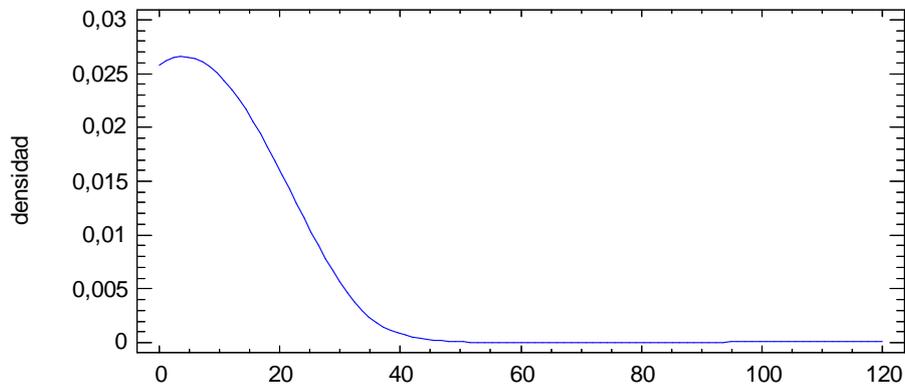


Gráfico 3.7: Función de densidad suavizada para los fallos de los transformadores de distribución.

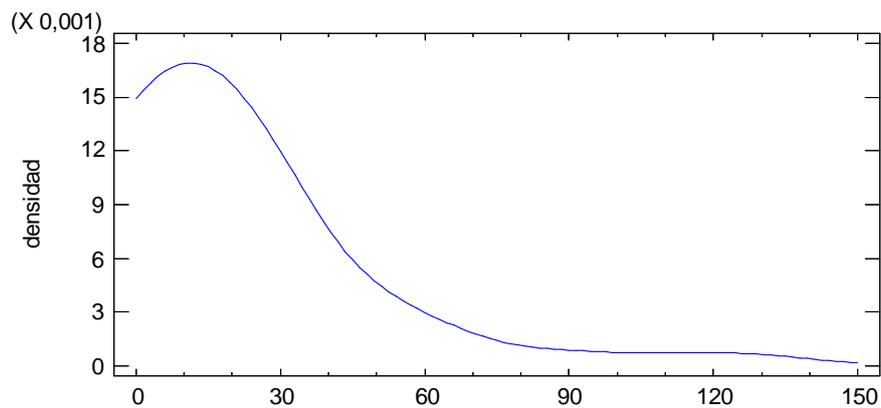


Gráfico 3.8: Función de densidad suavizada para los fallos de los transformadores de transmisión.

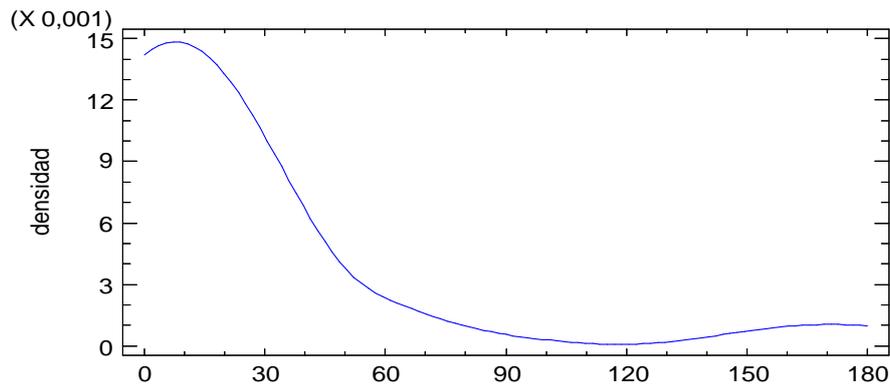


Gráfico 3.9: Función de densidad suavizada para los fallos de los transformadores de Sub-transmisión.

Para el análisis de los demás elementos más fallados se emplea la misma forma de trabajar, obteniendo también las funciones de probabilidad a las que más se ajustan los datos, así como las funciones de densidad. En la siguiente tabla (tabla 3.4) se observan los valores críticos de rechazo para las pruebas de hipótesis de bondad de ajuste Chi-cuadrada, así como los parámetros de las funciones.

Tabla 3.4: Ajuste a las distribuciones para los demás elementos estudiados.

Tipo de Elemento	Acometida	Poste o Estructura	Conductor
Distribución de Probabilidad	Geométrica	Geométrica	Geométrica
probabilidad del evento	0.20	0.17	0.16
P-valor	0.24	0.7	0.72

Las funciones de densidad se encuentran representadas en las figuras 3.10 a la 3.12, teniendo en cuenta que el planteamiento formal de la función es definido como la cantidad de días hasta que aparezca un fallo.

En los anexos 8 y 9, se muestran los detalles de las pruebas estadísticas realizadas para las

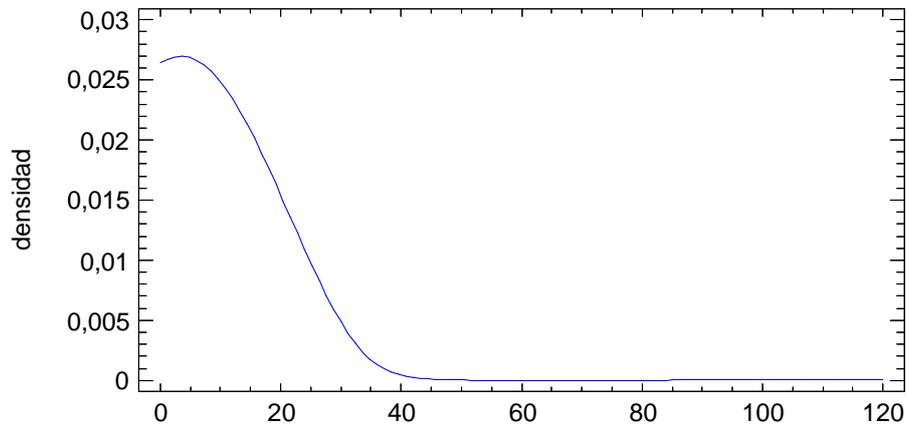


Gráfico 3.10: Función de densidad suavizada para los fallos de las acometidas.

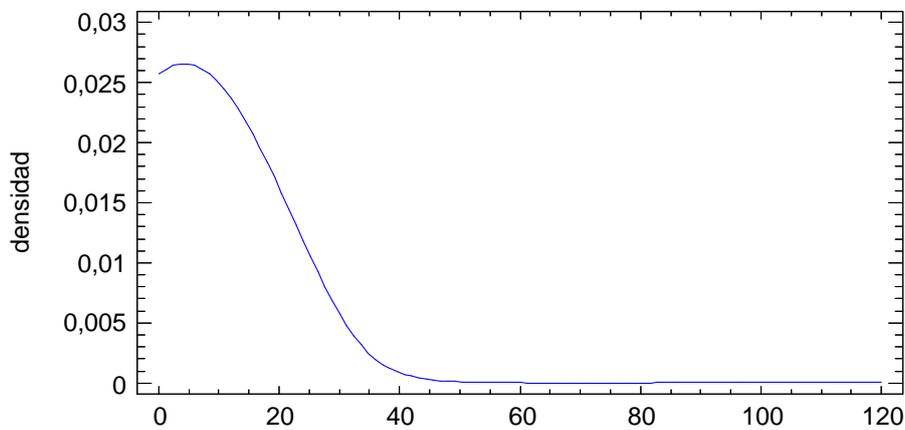


Gráfico 3.11: Función de densidad suavizada para los fallos de los postes o estructuras.

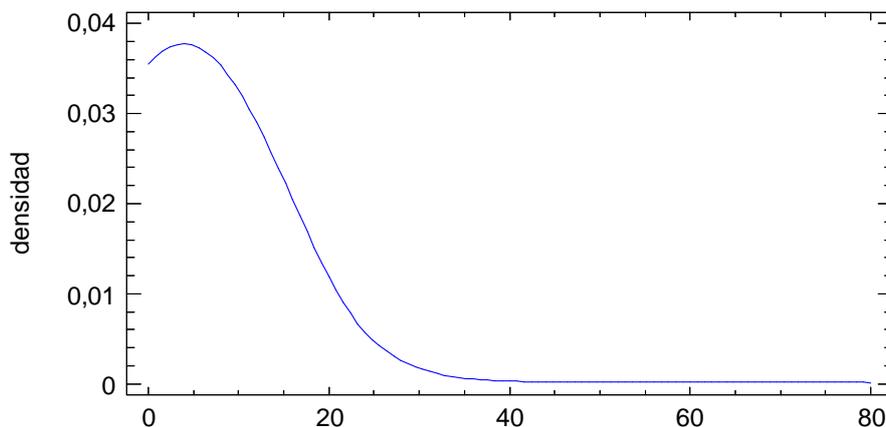


Gráfico 3.12: Función de densidad suavizada para los fallos de los Conductores.

### 3.3 Construcción de Árboles de fallas y generación de soluciones.

A partir de los resultados obtenidos en los epígrafes anteriores, se puede determinar el árbol de fallas para los problemas presentados en los transformadores, como se muestra en el gráfico 3.13.

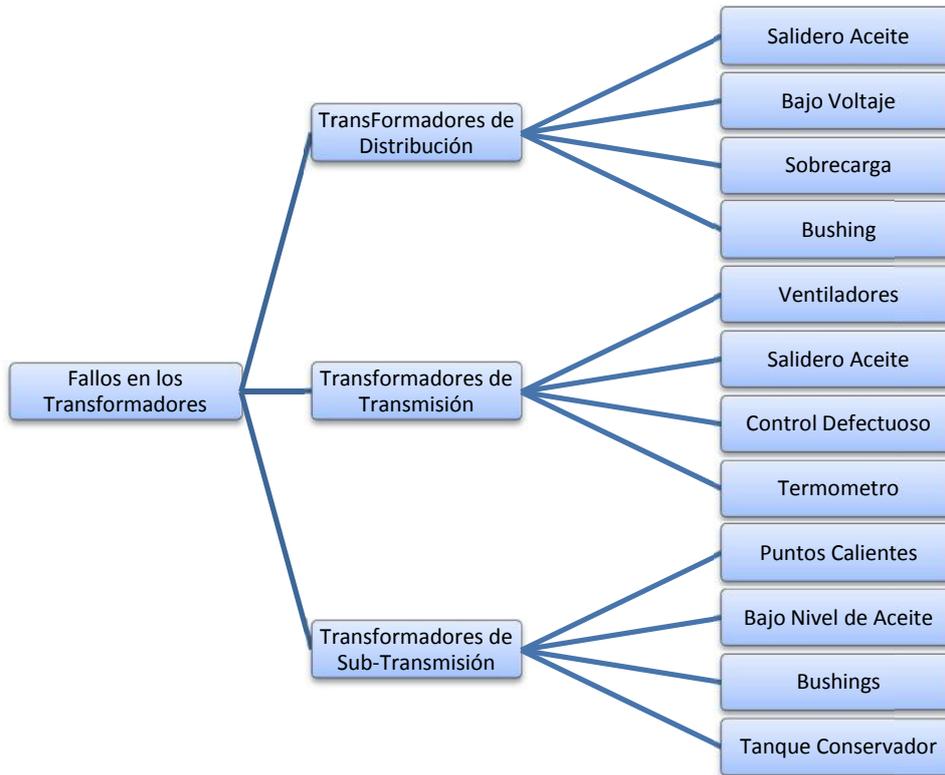


Gráfico 3.13: Árbol de fallas inicial para los defectos en los transformadores.

Un análisis más profundo de las causas que se presentan por parte de la empresa en el procedimiento empresarial UR-DB 0212, comprueba que existen posibles relaciones de dependencia entre las causas listadas en el procedimiento, lo que impide que se pueda realizar correctamente un análisis de modos y efectos de fallas directamente.

Luego de un trabajo con los expertos de la empresa se refinan las causas potenciales de las fallas que ocurren en los transformadores, las cuales se analizan a través de la técnica de Análisis de Modos de Fallos y sus Efectos, para conocer la jerarquía de las fallas según los niveles de prioridad de los riesgos.

**Tabla 3.5: Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos en los transformadores.**

		Falla	Modo de falla	Efectos del modo de falla	S	Causas del modo de falla potencial	F	Formas de detección	D	NP R
<b>Fallos en los Transformadores</b>  <b>0.24</b>	<b>Transformadores de Distribución</b>  <b>0.178</b>	Salidero Aceite	Perforaciones en el cuerpo	Desperfecto total o parcial	8	Corrosión en el cuerpo	3	Inspección Periódica	4	96
		Sobrecarga	Mal cálculo de la carga	Bajo Voltaje	5	Error Humano	4	Mediciones periódicas	3	60
	<b>Transformadores de Transmisión</b>  <b>0.473</b>	Ventiladores	Parada del ventilador	Calentamiento del elemento	6	Error en MTTO	2	Inspección Periódica	5	60
		Salidero Aceite	Perforaciones en el cuerpo	Desperfecto total o parcial	8	Corrosión en el cuerpo	4	Inspección Periódica	6	192
		Control Defectuoso	Descontrol de equipo	Calentamiento del elemento	9	Error en MTTO	3	Inspección Periódica	1	27
	<b>Transformadores de Sub-Transmisión</b>  <b>0.044</b>	Sobrecarga	Mal cálculo de la carga	Calentamiento del elemento	5	Error Humano	5	Mediciones periódicas	4	100
		Bajo Nivel de Aceite	Perforaciones en el cuerpo	Desperfecto total o parcial	8	Corrosión en el cuerpo	5	Inspección Periódica	2	80

Luego de realizado este análisis de FMEA, se procede a calcular los valores esperados de los niveles de prioridad de riesgo utilizando las probabilidades de ocurrencia calculadas para cada una de las fallas, como se puede ver en la tabla 3.6.

A partir del análisis del valor esperado, se complementa el análisis cualitativo del FMEA con la probabilidad real de ocurrencia de las fallas, por lo que da una mejor medida de a cuáles de los fallos se le debe prestar mayor atención. Es clave destacar que estos elementos estudiados, es decir, los transformadores, son considerados como de mucha importancia en los procesos de distribución de la energía eléctrica. Es por ello que la empresa como parte de las mejoras de los procesos debería adoptar un análisis de fiabilidad más riguroso que el que se realiza en esta investigación, para ello lo primero sería implementar la hoja de vida

de los equipos diseñada en el anexo 5, para de esta forma poder determinar correctamente los índices de fiabilidad clásicos como son los Tiempos Medios Entre Fallos (TMEF) y los Tiempos de Trabajo Hasta el Fallo (TTHF).

**Tabla 3.6: Cálculo del Valor esperado de los RPN en los transformadores.**

		Falla	NPR	Valor Esperado
<b>Fallos en los Transformadores</b> <b>0.24</b>	<b>Transformadores de Distribución</b> <b>0.178</b>	Salidero Aceite	96	<b>4.1</b>
		Sobrecarga	60	<b>2.56</b>
	<b>Transformadores de Transmisión</b> <b>0.473</b>	Ventiladores	60	<b>6.8</b>
		Salidero Aceite	192	<b>21</b>
		Control Defectuoso	27	<b>3.06</b>
	<b>Transformadores de Sub-Transmisión</b> <b>0.044</b>	Sobrecarga	100	<b>1.06</b>
		Bajo Nivel de Aceite	80	<b>0.8</b>

El proceso de inspección deberá ser iterativo con vistas a lograr la mejora continua, en el gráfico 3.14, se propone un procedimiento a seguir para la realización de las inspecciones periódicas, el que deberá quedar incluido en la empresa a través de los procedimientos diseñados en el sistema de calidad.

Además el proceso de análisis de la fiabilidad deberá incluir los pasos propuestos en la figura 3.15, el cual se basa en los datos de las inspecciones realizadas en el procedimiento presentado en el gráfico 3.14. Los datos requeridos para el análisis de la fiabilidad de las redes de distribución actualmente no permiten el análisis de los índices, es por ello que el sistema informático para la gestión de la distribución SIGEDI, deberá ser modificado para incluir en él los datos de los equipos que se llevarán en el modelo previsto por el anexo 5.

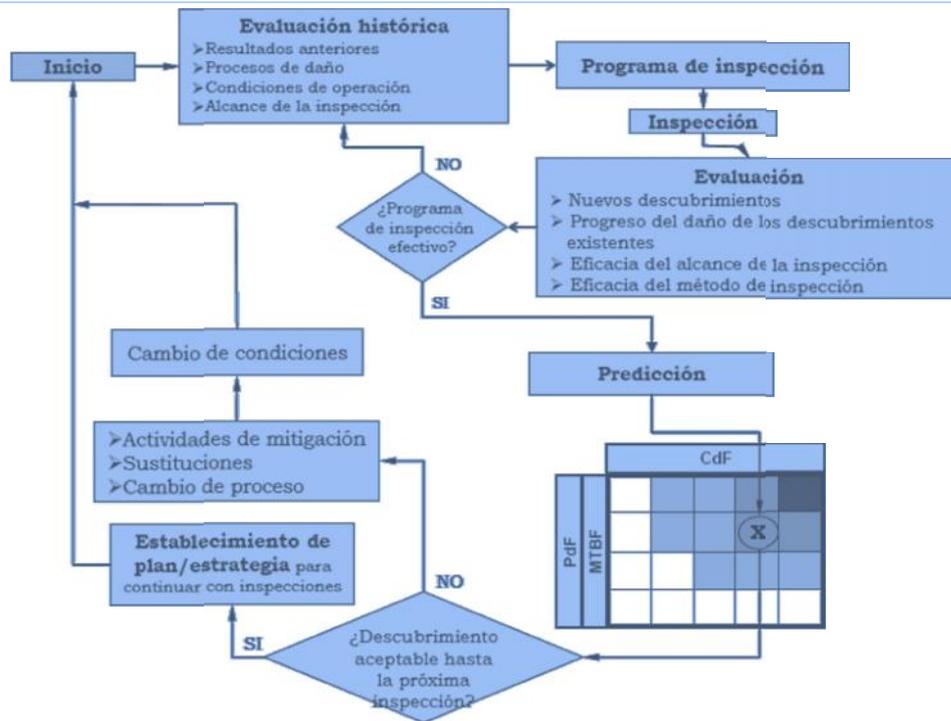


Gráfico 3.14: Proceso iterativo de inspección propuesto para los elementos de las redes eléctricas. Adaptado de: García González-Quijano 2004.

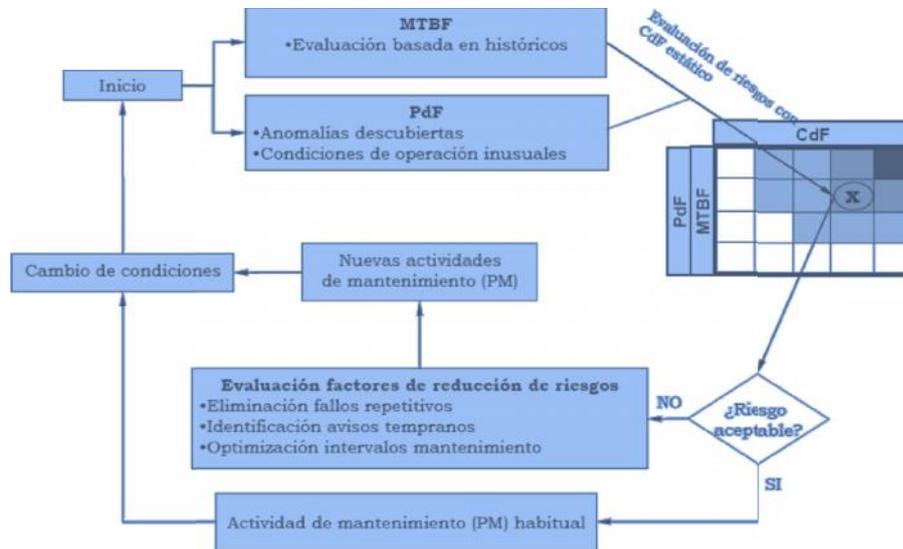


Gráfico 3.14: Proceso de análisis propuesto para los elementos de las redes eléctricas. Adaptado de: García González-Quijano 2004.

*Conclusiones*

## Conclusiones

- La cantidad de defectos mensuales se comporta según una distribución de Poisson con una media de 66.525 defectos por meses, pero no tiene un estado de control estadístico.
- La mayor influencia en las clasificaciones de los TIU están relacionadas en primer lugar con las interrupciones en el nivel primario, luego con el nivel de servicio y menos significativamente por las fallas en los niveles secundarios.
- A partir de las gráficas de Pareto de las figuras 3.2; 3.3 y 3.4, no es posible determinar un conjunto de circuitos que puedan representar el mayor por ciento de los defectos, ya que no se cumple correctamente el principio de Pareto.
- El análisis de Pareto que se muestra en la figura 3.5, indica que los elementos más conflictivos son los siguientes:
  - Transformadores
  - Acometida
  - Poste o estructura
  - Conductor
- Se analizan las distribuciones a las que se ajustan los datos de las fallas de los Transformadores y se desglosan en los diferentes tipos de transformadores.
- La empresa no se encuentra en condiciones de realizar los mantenimientos centrados en fiabilidad, ya que no se conocen los tiempos de trabajo de los equipos.
- Se propone un procedimiento a seguir para la realización de las inspecciones periódicas, el que deberá quedar incluido en la empresa a través de los procedimientos diseñados en el sistema de calidad.

*Recomendaciones*

## Recomendaciones

- Incluir los pasos propuestos en la figura 3.15, el cual se basa en los datos de las inspecciones realizadas en el procedimiento presentado en el gráfico 3.14.
- Modificar el programa SIGEDI para la Gestión de los Datos de la Distribución para incluir en él los datos de los equipos que se llevarán en el modelo previsto por el anexo 5.
- Extender los resultados del estudio a los demás componentes que presentan los mayores problemas para poder conocer la distribución de probabilidad de los fallos y su probabilidad de ocurrencia.
- Utilizar los datos de las probabilidades de falla como punto de partida para realizar un análisis de carga y capacidad en la reparación de averías para las redes de distribución de la Empresa Eléctrica de Cienfuegos.

# *Bibliografia*

## Bibliografía

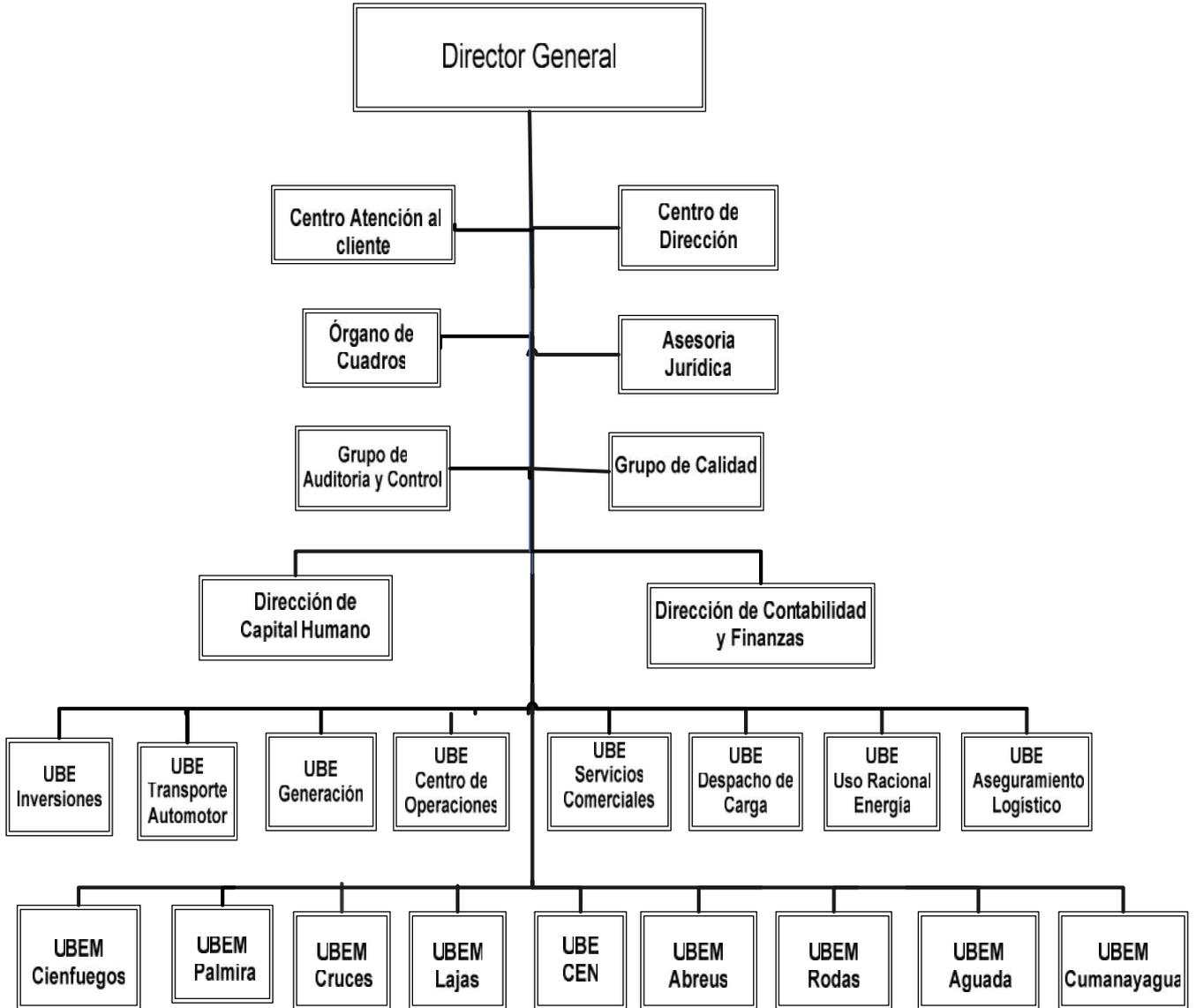
- Acuña, J. A. (2003). *Ingeniería de Confiabilidad* (Primera edición ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Agudelo, I. C. (2009). Implementación de la Confiabilidad Operacional en proyectos de Ingeniería.(COPI) En busca del costo operacional óptimo. Bogotá., Colombia.
- Amendola, L. (2002). *Modelos Mixtos de Confiabilidad*. Valencia, España.
- Andreani, A. A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad en plantas industriales*.
- API. (December de 2003). Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. *Recommended practice 571 , first edition*.
- API. (September de 2008). Risk-Based Inspection Technology. *API 581 , Second Edition*.
- Carlos Parra, R. L. (2004). Modelo integral para optimizar la confiabilidad en instalaciones petroleras de subsuelo. *VI Congreso Panamericano de Ingeniería de mantenimiento , 14*.
- Centro de Estudios de PDVSA. (2010). Dossier Ingeniería de Confiabilidad, Nivel Básico. Puerto La Cruz, Venezuela.
- Charles J Latino, R. C. (s.f.). *confiabilidad.net*. Recuperado el mayo de 2011 , de confiabilidad.net: <http://confiabilidad.net/articulos/definicion-y-logro-de-la-cultura-de-confiabilidad/>
- Comité Técnico ISO. (2008). ISO 9001:2008 Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos. *ISO 9001:2008 . (T. oficial., Trad.)*
- Developed by SAE Committee G-11SW, Software Rims of Division G-11, Reliability,. (Enero de 2004). Software Reliability Program Implementation Guide. *SAE-JA-1013 .*
- Developed by the SAE G-11 RCM Subcommittee. (January de 2002). A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. *SAE-JA-1012 .*
- Dhillon, B. (2005). *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press.
- Durán, M. J. (2000). Optimización de estrategias de mantenimiento.
- Escalante, E. J. (2005). *Seis-sigma: metodología y técnica*. (Limusa, Ed.)
- Fabrycky, W. J. (1997). *Análisis del coste del ciclo de vida de los sistemas*.

- García, F., Rangel, J., & Oliveros, J. (Octubre de 2003). Manual del Sistema de Inspección en Marcha y Lazos de Corrosión de la Unidad de Bencina Refinería Puerto La Cruz. Puerto La Cruz.
- Hinchcliffe, A. M. (2004). *RCM: gateway to world class maintenance*. Oxford, USA: Elsevier Inc.
- ISO/TC 67. (2004). IPetroleum and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. *ISO 14224* , [Revision of first edition (ISO 14224:1999)].
- ISO/TS. (15 de 09 de 2003). International Standart ISO/TS 29001:2003 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Sector specific quality management systems - Requiements for product and service supply organizations. . *ISO 29001:2003* , *First edition*.
- J.M.Yuran. (1992). *Programa Yuran para mejora de la calidad* (Vol. 1).
- Jones, R. B. (1995). *Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach*.
- Latino, C. J. (1996). *Eliminando Fallas Crónicas Puede Reducirse el Costo de Mantenimiento Hasta en un 60%*. (I. Reliability Center, Editor) Obtenido de información@klaron.net.
- Luis Amendola, P. D., & Tibaire Depool, M. I. (s.f.). *confiabilidad.net*. Recuperado el 12 de septiembre de 2010, de confiabilidad.net: <http://confiabilidad.net/articulos/metodologia-de-direccion-y-gestion-de-proyectos-de-parada-de-planta-de-proc/>
- Mendoza, I. R. (2009). *El Análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional*. Recuperado el 2010, de Club\_mantener@sinectis.com.
- Murguía, P. R. (2005). Control estadístico de procesos. 93.
- Palencio., I. M. (2005). *El Análisis Causa Raíz, Estrategia de Confiabilidad Operacional*. Colombia.
- Prepared by the sae g-11 reliability centered maintenance (rcm) subcommittee of the sae g-11 supportability committee. (AUG de 2009). Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. *SAE-JA1011* .
- Primera, E. (2010). *Modelo de Gestión para Optimización de la Confiabilidad Operacional*.

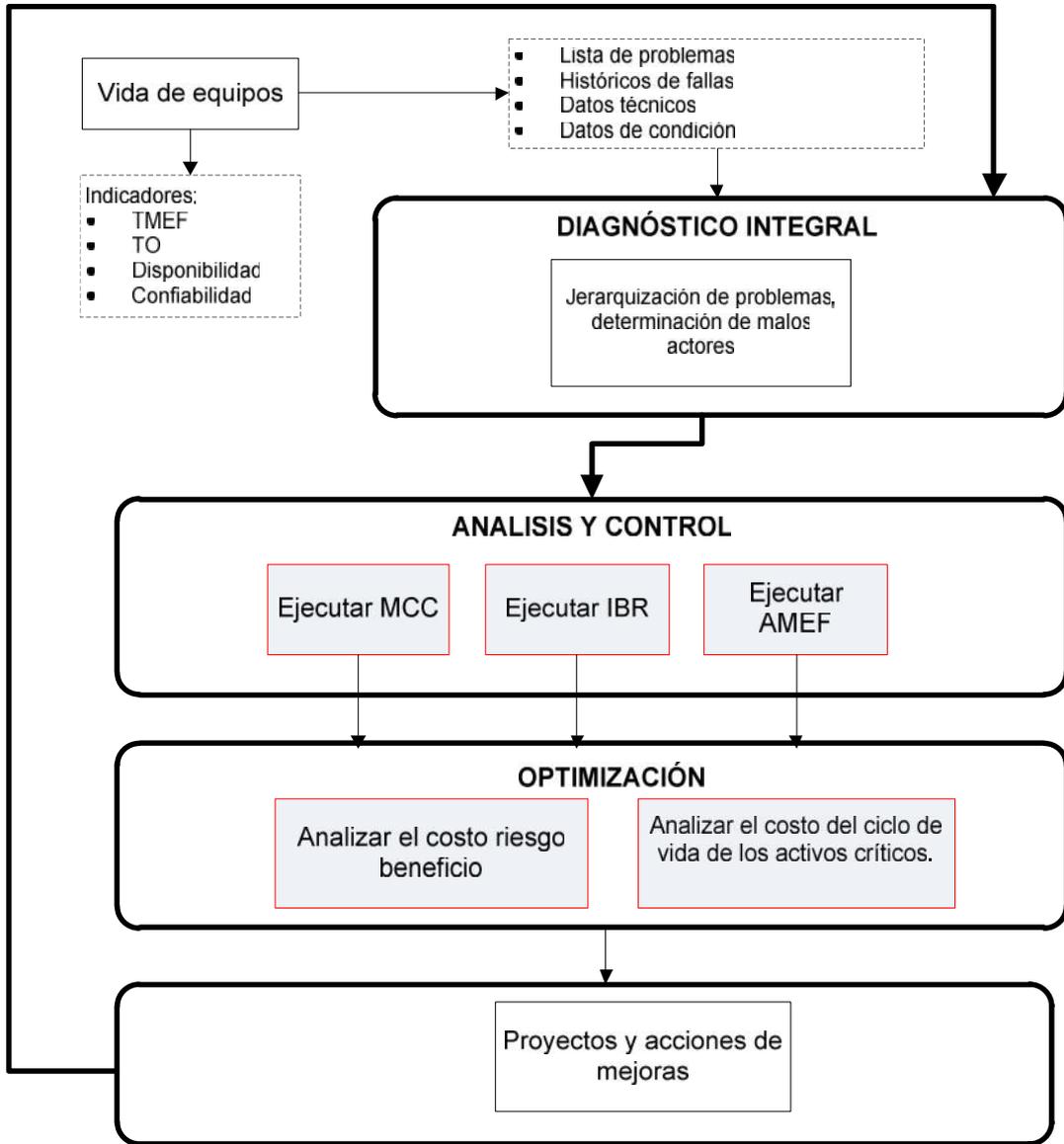
- Ramakrishnan, S. (s.f.). *confiabilidad.net*. Recuperado el mayo de 2011, de confiabilidad.net:  
[http://confiabilidad.net/articulos/funamentos\\_para\\_la\\_excelencia\\_en\\_el\\_mantenimiento\\_y\\_confiabilidad/](http://confiabilidad.net/articulos/funamentos_para_la_excelencia_en_el_mantenimiento_y_confiabilidad/)
- Rave, J. P., & Mesa, C. P. (Mayo de 2007). *Confiabilidad.net*. Obtenido de Gestión y activo.
- Refinación Oriente PDVSA. centro de Estudios Puerto la Cruz. (2010). *Dossier Visitas Técnicas Ingeniería de Instalaciones*. Puerto La Cruz.
- Robert J Latino, R. C. (s.f.). *confiabilidad.net*. Obtenido de confiabilidad.net:  
<http://confiabilidad.net/articulos/calidad-del-proceso-y-el-analisis-de-causa-raiz/>
- Salazar, H. G. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Sánchez, A. C. *Conceptos básicos de estadística*. (U. P. Valencia, Ed.) Valencia, España, España.
- Sigcho, V. M. (s.f.). *confiabilidad.net*. Obtenido de Confiabilidad Operacional, una solución de mejora para centros de automatización.
- Tavares, L. *Administración moderna del mantenimiento*. Valencia, España.

*Anexos*

**Anexo 1: Estructura de dirección de la Empresa Eléctrica de Cienfuegos**



**Anexo 2: Diagrama de Flujo del procedimiento utilizado.**



## **Anexo 3: Sub-causas fundamentales que se presentan en las instalaciones de la Empresa Eléctrica de Cienfuegos**

### **Causas Voluntarias:**

#### **1. Voluntarias**

- 1.1 Mantenimiento:** Líneas y subestaciones des-energizadas voluntariamente para ejecutar labores de mantenimiento y/o sustitución de elementos en mal estado. Cuando se está trabajando en caliente y el re-cierre está bloqueado si ocurre un disparo transitorio la causa se considerará voluntaria.
- 1.2 Operación:** Líneas y subestaciones des-energizadas voluntariamente por necesidades de la operación del sistema.
- 1.3 Emergencias:** Líneas y subestaciones des-energizadas voluntariamente por situaciones peligrosas para evitar o disminuir los daños para vidas, propiedades, equipos y a la propia línea como consecuencia de la acción de agentes medioambientales, externos, acciones de personal propio o mal estado de elementos de la Línea. Cuando una línea dispara y se deja abierta por situaciones de este tipo y al volverse a Energizar no tiene averías, la interrupción se considerará voluntaria.
- 1.4 Déficit de capacidad:** Líneas y subestaciones des-energizadas voluntariamente por Déficit de capacidad ya sea por generación o por transferencias limitadas en la transmisión.
- 1.5 Condiciones de Voltaje:** Líneas y subestaciones des-energizadas voluntariamente por condiciones de voltaje.
- 1.6 Trabajos planificados propios:** Líneas des-energizadas voluntariamente para ejecutar labores de construcción y otros trabajos de la propia organización en otras líneas cuya cercanía así lo determine.
- 1.7 Trabajos planificados ajenos:** Líneas des-energizadas voluntariamente para ejecutar labores de construcción y otros trabajos de terceros en otras líneas cuya cercanía así lo determine.

### **Causas Propias:**

#### **Por problemas de Mantenimiento.**

#### **2. Estructuras:** Interrupciones provocadas por problemas en las estructuras.

- 2.1 Poste partido.
- 2.2 Poste caído.
- 2.3 Tensores o anclas.

2.4 Tocón.

2.5 Apoyo o asfalda.

2.6 Otros daños.

**3. Aislamiento:** Interrupciones provocadas por fallas en el aislamiento.

3.1 Dañado.

3.2 Corrosión.

3.3 Aislador pasado.

**4. Conductor:** Interrupciones provocadas por fallas en el conductor.

4.1 Conductor en mal estado (corroído, daños mecánicos, muchos empates).

4.2 Sobrecarga.

4.3 Tensión mecánica inadecuada.

4.4 Calibre inadecuado.

4.5 Amarra suelta.

4.6 Cable soterrado.

4.7 Acometida dañada.

4.8 Acometida inadecuada.

4.9 Entrada / salida de corriente.

**5. Crucetas y Herrajes:** Interrupciones provocadas por daño en las crucetas y herrajes.

5.1 Cruceta partida.

5.2 Corrosión en cruceta.

5.3 Falta de apriete de aisladores.

5.4 Corrosión en herrajes.

5.5 Otros daños.

5.6 Avión dañado.

**6. Falso Contacto:** Interrupciones provocadas por falso contacto entre dos elementos sólidamente conectados.

6.1 Puentes con grampas.

6.2 Puentes con Empalmes.

6.3 Bajantes transformadores.

6.4 Drop outs.

6.5 Terminales.

6.6 Entrada / salida de corriente.

6.7 Acometida.

6.8 Metro contador.

6.9 Otros equipos.

**7. Aterramiento y Shield:** Interrupciones provocadas por bajo nivel de aterramiento y daños del Shield.

7.1 Bajante a tierra abierto o inexistente.

7.2 Neutro abierto o inexistente.

7.3 Falso contacto en bajante a tierra.

7.4 Calibre inadecuado del bajante a tierra.

7.5 Shield partido.

**8. Fallas en Equipos y accesorios:** Interrupciones provocadas por fallas o daños en los equipos u operación inadecuada de estos. Las fallas en equipos pueden tener múltiples causas las cuales serán analizadas por separado por las áreas técnicas con todo el rigor que requiere según el caso y dejando constancia escrita en el expediente de la instalación cuando así lo amerite.

8.1 Interruptores o re-cerradores.

8.2 Drop Outs.

8.3 Otros Desconectivos (Cuchillas, interruptores en aire, etc.).

8.4 Pararrayos.

8.5 Transformadores.

8.6 Transformadores de Potencial.

8.7 Transformadores de corriente.

8.8 Capacitores.

8.9 Barras.

8.10 Baterías.

8.11 Fusibles.

8.12 Relevadores.

8.13 Reactores.

8.14 Reguladores de voltaje.

8.15 Compresores.

8.16 Breakers o chuchos catados.

8.17 Metro contador.

### **9. Rayos. (No tiene sub-causas)**

Se debe tener en cuenta cuando la causa de la interrupción es el rayo o la insuficiente protección contra estos y la falta de aterramiento. Es una interrupción propia ya que si existe la protección adecuada el rayo no debe producir afectación sino ocurre impacto directo.

### **10. Árboles. (No tiene sub-causas)**

Interrupciones provocadas por cortocircuito debido a árboles. Se considera una interrupción propia porque es una obligación mantener las líneas libres de árboles en contacto con los conductores y ser la poda parte del mantenimiento.

### **Por errores propios y otros.**

**11. Operación defectuosa o errónea:** Interrupciones por operación indebida de las protecciones sin ocurrir falla por relevador defectuoso, errores de operación o manipulación del personal, equipos fuera de servicio, etc. Debe tenerse en consideración que la mayoría de las fallas por este concepto corresponden a las Subestaciones y no a las líneas.

11.1 Mala coordinación.

11.2 Calibración o ajuste incorrecto.

11.3 Operación incorrecta de la DAF.

11.4 Operación defectuosa de tele-comandos.

11.5 Operación incorrecta de interruptores.

11.6 Error del personal. (En el caso de las líneas se refiere por ejemplo a tirar la cadena de tierra a una línea energizada)

11.7 No operación del Re-cierre.

11.8 Desbalance.

**12. Fallas del sistema.** Interrupciones provocadas por falla en el sistema a niveles superiores de voltaje o Centrales Eléctricas cuya causa real será codificada al nivel que corresponda, no siendo contabilizada en el nivel de voltaje en que se produce la afectación.

12.1 Fallas provocadas en un nivel de voltaje superior.

12.2 Operación de la DAF.

12.3 Operación de la DAV.

12.4 Operación de la ACA.

**13. Falla en nivel inferior: (No tiene subcausas).**

Interrupciones ocurridas por fallas en el nivel de voltaje inferior al de la línea o subestación no provocadas por otras causas codificadas, cuya causa real será codificada al nivel que corresponda, no siendo contabilizada en el nivel de voltaje en que se produce la afectación.

**I. Causas Externas:**

**14. Otros Agentes Medioambientales:**

Interrupciones provocadas por agentes medioambientales cuando estos son los únicos responsables de la misma y sin influencia del mal estado de la red.

14.1 Tormentas.

14.2 Inundaciones.

14.3 Contaminación salina.

14.4 Contaminación química-industrial.

14.5 Otros tipos de Contaminación (polvo, etc.)

**15. Agentes Externos:** Interrupciones provocadas por agentes externos a las instalaciones.

15.1 Transito.

15.2 Equipos tecnológicos (grúas, retroexcavadoras, etc.).

15.3 Público, papalotes, animales, pencas, etc.

15.4 Derrumbes.

15.5 Armas de fuego y explosiones.

15.6 Incendios.

15.7 Quema de caña.

15.8 Daños maliciosos.

**16 Desconocidas:** Interrupciones en las que no se conoce la causa de forma inmediata.

**Notas:**

- Debe tenerse en cuenta que las interrupciones por pencas no se incluyen en la causa 10.
- Conceptualmente las lluvias y los vientos no provocan interrupciones.
- Debe tenerse en cuenta que no todas las subcausas corresponden a todas las instalaciones aunque la causa principal sea la misma. Ej.: Una línea de 110 kV no puede tener falso contacto en el drop out.

#### Anexo 4: Codificación de las instalaciones en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos.

CATEGORIA	TIPO DE INSTALACION	RESPONSABLE	LETRA	COD-SICO	OBSERVACIONES
Producción	Bancos de Capacitores	Territorio	C	Sí	Consecutiva. Incluye Bancos Controlados
	Generadores en Distribución	Provincia	G	Sí	Generadores Fijos y móviles en Distribución.
Centros de Transformación	Subestaciones de Transmisión	Provincia	T		Numeración Consecutiva
	Subestaciones de Distribución	Provincia	E	Sí	Existe numeración nacional. Cambiar
	Bancos de Transformadores	Territorio	B	Sí	Número Consecutivo
	Regulador de Voltaje	Provincia	V	Sí	Todo tipo de Regulador de Voltaje
Desconectivos Seccionalizadores	Empalme o Grampa	Provincia	W	Si	Numeración Consecutiva para todos los seccionalizadores. Independiente de si es cuchilla, fusibles, o interruptor y de su ubicación
	Cuchilla o Interruptores en Aire.	Provincia	D	Sí	
	Portafusibles	Provincia	F	Sí	
	Interruptor ó Recerrador	Provincia	I	Sí	
Circuitos y Líneas de Distribución	Circuitos de Subtransmisión 33 kV	Provincia	U		Permitido el Interruptor
	Circuito Primario hasta 4kv	Provincia	J		Numeración consecutiva para todos los circuitos Primarios.
	Circuito Primario hasta 15 Kv	Provincia	K		
	Circuitos Primarios hasta 25 kV	Provincia	H		
	Circuito Secundarios	Territorio	S		Coincide con Banco Transformadores
	Circuitos de Alumbrado	Territorio	A		Num. Consecutiva
Instalaciones Auxiliares y de Carga.	Secciones de Líneas	Automática			Definida en base al Circuito y Seccionalizador
	Tramos de Lineas	Territorio	T		Consecutiva por Proyectos
	Poste	Territorio	P	Sí	Consecutiva
	Luminarias	Territorio	L	Sí	Coincide con el Poste
	Entrada de Corriente	Territorio	Y		Ruta y Folio del Cliente
	Acometidas	Territorio	Z		Ruta y Folio del Primer Consumidor
	Esquema de Protecciones	Provincia	Q		Número Interruptor y Tipo de Esquema



## Anexo 6: Resultados de la Regresión de Supervivencia para las clasificaciones de los TIU

Variable dependiente: Clasif

Factores:

Int Primarias

Int\_Seccund

Int\_Serv

Número de valores no censurados: 95

Número de valores censurados por derecha: 0

### Modelo de Regresión Estimado - Weibull

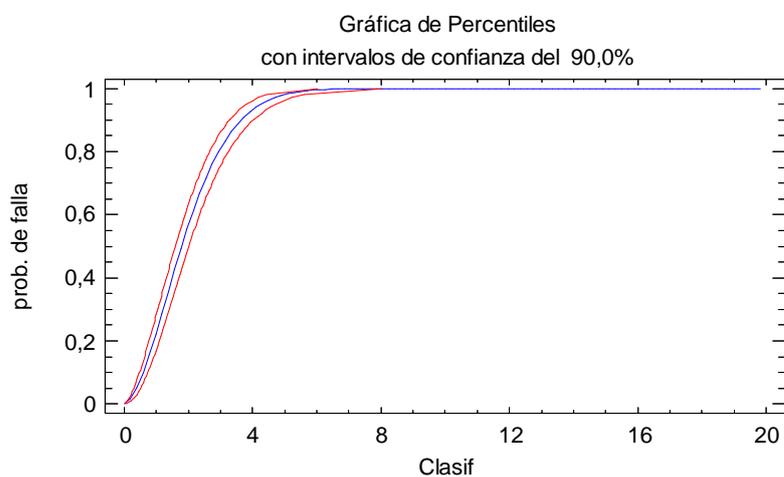
		Error	LC Inferior 95,0%	LC Superior 95,0%
Parámetro	Estimado	Estándar	Límite de Conf.	Límite de Conf.
CONSTANTE	-0,038558	0,10556	-0,245452	0,168336
Int Primarias	0,0102784	0,00365493	0,00311481	0,0174419
Int_Seccund	-0,00187334	0,00112465	-0,00407761	0,000330931
Int_Serv	0,0015056	0,000228211	0,00105831	0,00195289
SIGMA	0,58918	0,0434629	0,509866	0,680832

Log verosimilitud = -140,211

### Pruebas de Razón de Verosimilitud

Factor	Chi-Cuadrada	Gl	Valor-P
Int Primarias	8,71436	1	0,0032
Int_Seccund	2,63594	1	0,1045
Int_Serv	36,4795	1	0,0000

Clasif =  $\exp(-0,038558 + 0,0102784 * \text{Int Primarias} - 0,00187334 * \text{Int\_Seccund} + 0,0015056 * \text{Int\_Serv})$



## Anexo 7: Pruebas de Bondad de ajuste de para los fallos en las redes de distribución.

### Comparación de Distribuciones Alternas

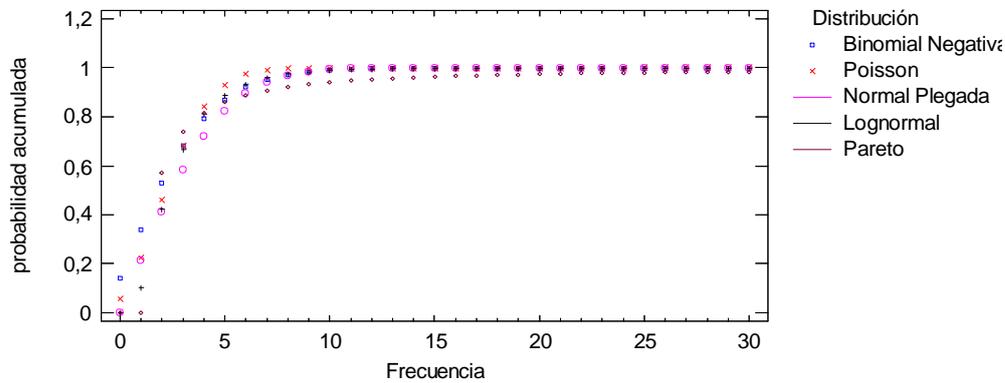
Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Pareto	1	-1513,12
Gaussiana Inversa	2	-1683,2
Lognormal	2	-1690,07
Binomial Negativa	2	-1891,19
Normal Plegada	2	-1908,8
Poisson	1	-1934,94
Binomial	1	-1949,86
Geométrica	1	-2063,45
Uniforme Discreta	2	-3052,84
Bernoulli	1	-9,37E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Frecuencia de fallos

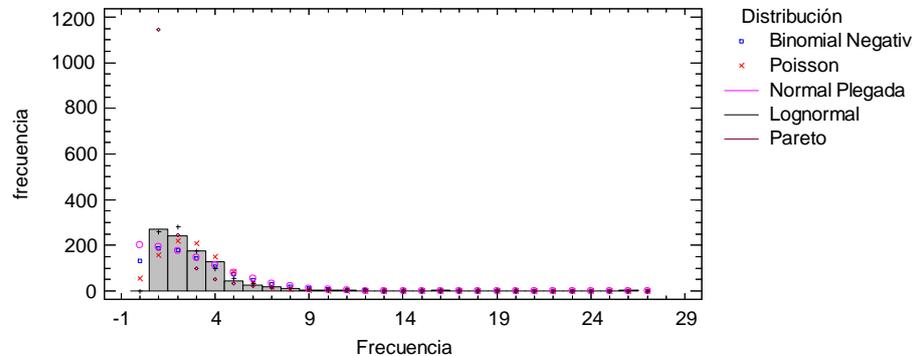
#### Prueba Chi-Cuadrada

	Binomial Negativa	Poisson	Normal Plegada	Lognormal	Pareto
Chi-Cuadrada	255,48	272,535	228,836	49,7538	234,121
G.l.	11	8	9	11	20
Valor-P	0,56789	0,4158	0,57863	0,66053	0,6786

Distribución Acumulada



Histograma para Frecuencia



## Anexo 8: Pruebas de Bondad de ajuste de para los fallos en los transformadores.

### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para días hasta el fallo del Total de Transformadores

#### Prueba Chi-Cuadrada

	Límite	Límite	Frecuencia	Frecuencia	
	Inferior	Superior	Observada	Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		0,0	89	97,66	0,77
	1,0	1,0	89	73,70	3,18
	2,0	2,0	68	55,61	2,76
	3,0	3,0	40	41,97	0,09
	4,0	4,0	31	31,67	0,01
	5,0	5,0	24	23,90	0,00
	6,0	6,0	10	18,03	3,58
	7,0	7,0	9	13,61	1,56
	8,0	8,0	8	10,27	0,50
	9,0	9,0	7	7,75	0,07
	10,0	10,0	6	5,85	0,00
	11,0	11,0	4	4,41	0,04
	12,0	12,0	4	3,33	0,13
	13,0	13,0	2	2,51	0,10
	14,0	15,0	2	3,33	0,53
	16,0		5	4,40	0,08

Chi-Cuadrada = 13,4192 con 14 g.l. Valor-P = 0,493811

#### Comparación de Distribuciones Alternas

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Geométrica	1	-903,775
Normal	2	-1294,99
Uniforme Discreta	2	-1874,39
Poisson	1	-1,E9
Binomial	1	-1,E9
Bernoulli	1	-3,98E11
Binomial Negativa	2	-3,98E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Trasformadores de distribución

#### Prueba Chi-Cuadrada

	Límite	Límite	Frecuencia	Frecuencia	
	Inferior	Superior	Observada	Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		0,0	43	47,16	0,37
	1,0	1,0	47	38,77	1,75
	2,0	2,0	41	31,87	2,62
	3,0	3,0	30	26,20	0,55
	4,0	4,0	18	21,53	0,58
	5,0	5,0	17	17,70	0,03
	6,0	6,0	10	14,55	1,42
	7,0	7,0	9	11,96	0,73
	8,0	8,0	5	9,83	2,38
	9,0	9,0	11	8,08	1,05
	10,0	10,0	6	6,64	0,06
	11,0	11,0	7	5,46	0,43
	12,0	12,0	5	4,49	0,06
	13,0	13,0	1	3,69	1,96
	14,0	14,0	1	3,03	1,36

	15,0	15,0	3	2,49	0,10
	16,0	16,0	0	2,05	2,05
	17,0	18,0	2	3,07	0,37
	19,0	20,0	5	2,07	4,12
	21,0		4	4,32	0,02

Chi-Cuadrada = 22,0294 con 18 g.l. Valor-P = 0,230684

#### Comparación de Distribuciones Alternas

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Geométrica	1	-697,305
Normal	2	-929,014
Uniforme Discreta	2	-1248,03
Poisson	1	-1,E9
Binomial	1	-1,E9
Bernoulli	1	-3,98E11
Binomial Negativa	2	-3,98E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

#### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Transformadores de Transmisión

##### Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		0,0	3	2,65	0,05
	1,0	1,0	4	2,53	0,86
	2,0	2,0	4	2,41	1,05
	3,0	3,0	3	2,29	0,22
	4,0	4,0	3	2,18	0,30
	5,0	5,0	2	2,08	0,00
	6,0	7,0	3	3,87	0,20
	8,0	9,0	4	3,51	0,07
	10,0	11,0	4	3,19	0,21
	12,0	13,0	3	2,89	0,00
	14,0	15,0	2	2,63	0,15
	16,0	17,0	0	2,38	2,38
	18,0	19,0	2	2,16	0,01
	20,0	22,0	3	2,87	0,01
	23,0	25,0	1	2,48	0,89
	26,0	28,0	1	2,15	0,61
	29,0	32,0	1	2,42	0,83
	33,0	37,0	5	2,43	2,71
	38,0	43,0	2	2,24	0,03
	44,0	51,0	1	2,13	0,60
	52,0	64,0	0	2,10	2,10
	65,0		5	2,39	2,86

Chi-Cuadrada = 16,1305 con 20 g.l. Valor-P = 0,708494

#### Comparación de Distribuciones Alternas

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Geométrica	1	-225,43
Normal	2	-261,238
Uniforme Discreta	2	-269,936
Poisson	1	-810,705
Binomial	1	-1,E9
Bernoulli	1	-3,98E11
Binomial Negativa	2	-3,98E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

**Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Transformadores de Sub-transmisión**

Prueba Chi-Cuadrada

	<i>Límite</i>	<i>Límite</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Frecuencia</i>	
	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Observada</i>	<i>Esperada</i>	<i>Chi-Cuadrada</i>
menor o igual		0,0	14	2,20	63,26
	1,0	1,0	2	2,10	0,01
	2,0	2,0	2	2,01	0,00
	3,0	4,0	3	3,76	0,15
	5,0	6,0	3	3,44	0,06
	7,0	8,0	8	3,14	7,52
	9,0	10,0	1	2,87	1,22
	11,0	12,0	0	2,62	2,62
	13,0	14,0	1	2,40	0,81
	15,0	16,0	3	2,19	0,30
	17,0	18,0	1	2,00	0,50
	19,0	21,0	0	2,69	2,69
	22,0	24,0	0	2,35	2,35
	25,0	27,0	1	2,05	0,54
	28,0	31,0	1	2,34	0,76
	32,0	36,0	2	2,39	0,06
	37,0	42,0	1	2,24	0,68
	43,0	50,0	2	2,18	0,02
	51,0	62,0	0	2,10	2,10
	63,0		5	2,93	1,46

Chi-Cuadrada = 87,1041 con 18 g.l. Valor-P = 4,76106E-11

**Comparación de Distribuciones Alternas**

<i>Distribución</i>	<i>Parámetros Est.</i>	<i>Log Verosimilitud</i>
Geométrica	1	-205,045
Normal	2	-257,058
Uniforme Discreta	2	-259,925
Poisson	1	-1,E9
Binomial	1	-1,E9
Bernoulli	1	-3,98E11
Binomial Negativa	2	-3,98E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

## Anexo 9: Pruebas de Bondad de ajuste de para los fallos en las acometidas, los postes o estructuras y conductores.

### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para acometida

#### Prueba Chi-Cuadrada

	Límite	Límite	Frecuencia	Frecuencia	
	Inferior	Superior	Observada	Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		0,0	52	66,56	3,19
	1,0	1,0	74	52,76	8,55
	2,0	2,0	48	41,82	0,91
	3,0	3,0	30	33,15	0,30
	4,0	4,0	28	26,27	0,11
	5,0	5,0	22	20,83	0,07
	6,0	6,0	14	16,51	0,38
	7,0	7,0	5	13,08	5,00
	8,0	8,0	15	10,37	2,07
	9,0	9,0	7	8,22	0,18
	10,0	10,0	6	6,52	0,04
	11,0	11,0	3	5,16	0,91
	12,0	12,0	4	4,09	0,00
	13,0	13,0	2	3,24	0,48
	14,0	14,0	5	2,57	2,29
	15,0	15,0	0	2,04	2,04
	16,0	17,0	2	2,90	0,28
	18,0	20,0	0	2,46	2,46
	21,0		4	2,44	1,00

Chi-Cuadrada = 30,2458 con 17 g.l. Valor-P = 0,246262

### Comparación de Distribuciones Alternas

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Geométrica	1	-790,167
Uniforme Discreta	2	-1505,92
Poisson	1	-1,E9
Binomial	1	-1,E9
Bernoulli	1	-3,21E11
Binomial Negativa	2	-3,21E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para poste

#### Prueba Chi-Cuadrada

	Límite	Límite	Frecuencia	Frecuencia	
	Inferior	Superior	Observada	Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		0,0	39	42,74	0,33
	1,0	1,0	43	35,46	1,60
	2,0	2,0	36	29,42	1,47
	3,0	3,0	22	24,41	0,24
	4,0	4,0	23	20,26	0,37
	5,0	5,0	14	16,81	0,47
	6,0	6,0	14	13,95	0,00
	7,0	7,0	8	11,57	1,10
	8,0	8,0	9	9,60	0,04
	9,0	9,0	7	7,97	0,12
	10,0	10,0	7	6,61	0,02
	11,0	11,0	1	5,48	3,67
	12,0	12,0	6	4,55	0,46
	13,0	13,0	5	3,78	0,40
	14,0	14,0	5	3,13	1,11
	15,0	15,0	1	2,60	0,98

	16,0	16,0	4	2,16	1,58
	17,0	18,0	2	3,27	0,50
	19,0	20,0	2	2,25	0,03
	21,0	23,0	1	2,14	0,60
	24,0		2	2,84	0,25

Chi-Cuadrada = 15,3351 con 19 g.l. Valor-P = 0,701075

#### Comparación de Distribuciones Alternas

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Geométrica	1	-672,642
Uniforme Discreta	2	-1175,21
Poisson	1	-1,E9
Binomial	1	-1,E9
Bernoulli	1	-3,21E11
Binomial Negativa	2	-3,21E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	

#### Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Conductor

Prueba Chi-Cuadrada

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-Cuadrada
menor o igual		0,0	50	41,75	1,63
	1,0	1,0	42	34,72	1,52
	2,0	2,0	32	28,88	0,34
	3,0	3,0	13	24,02	5,05
	4,0	4,0	20	19,97	0,00
	5,0	5,0	12	16,61	1,28
	6,0	6,0	13	13,81	0,05
	7,0	7,0	10	11,49	0,19
	8,0	8,0	11	9,55	0,22
	9,0	9,0	7	7,95	0,11
	10,0	10,0	6	6,61	0,06
	11,0	11,0	5	5,49	0,04
	12,0	12,0	4	4,57	0,07
	13,0	13,0	4	3,80	0,01
	14,0	14,0	4	3,16	0,22
	15,0	15,0	3	2,63	0,05
	16,0	16,0	2	2,19	0,02
	17,0	18,0	5	3,33	0,84
	19,0	20,0	1	2,30	0,74
	21,0	23,0	0	2,19	2,19
	24,0		4	2,97	0,36

Chi-Cuadrada = 14,9938 con 19 g.l. Valor-P = 0,72299

#### Comparación de Distribuciones Alternas

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud
Geométrica	1	-667,685
Uniforme Discreta	2	-1074,02
Poisson	1	-1175,88
Binomial	1	-1254,57
Bernoulli	1	-3,21E11
Binomial Negativa	2	-3,21E11
Hipergeométrica	<sin ajuste>	