

Análisis de fallas en el soporte de energía de ETECSA en Matanzas, utilizando métodos estadísticos

Por Ing. Evelio Amor Galano, Especialista en Energética y Climatización Filial de Red Matanzas, e Ing. Erasmo Luis González Méndez, Jefe de Grupo Gestión de Energética y Climatización, Subgerencia de E&C, UNR, ETECSA
evelio.amor@etecsa.cu, luis.glez@etecsa.cu

Introducción

El desarrollo alcanzado por las tecnologías de la información en el mundo ha propiciado que las empresas necesiten herramientas de análisis que les permita abarcar la totalidad de sus procesos y lograr una integración entre los productos informáticos y el análisis estadístico, lo que conduce a una mayor optimización y un mejor acceso a la información disponible en la organización.

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. (ETECSA) es una empresa cubana que ha creado desde sus inicios una sólida estadística de las operaciones y, con ella, las condiciones necesarias para la realización de diagnósticos que permitan determinar el origen de las fallas y las causas que mayor incidencia tienen sobre ellas. Estas son premisas que, bien empleadas, garantizan una adecuada toma de decisiones y la elaboración de un plan de acción que permita minimizar los fallos en la red de telecomunicaciones.

En el caso contrario, la inexistencia de métodos de análisis para realizar un diagnóstico de la red de telecomunicaciones o en su soporte de energía y, por lo tanto, la imposibilidad de determinar las causas que provocan sus fallas, conducen a las siguientes consecuencias:

- ♦ Aparición de interrupciones repetidas.
- ♦ Indeterminación del envejecimiento del equipamiento instalado.
- ♦ Desconocimiento del momento en que es necesario sustituir un equipo.
- ♦ Afectaciones al servicio de telecomunicaciones.
- ♦ Degradación de los parámetros de calidad del sistema.

Teniendo en cuenta estos elementos, el objeto de estudio de este trabajo desde el contexto del usuario, es crear y fomentar el uso de una herramienta analítica estadística, basada en el estudio de los históricos y usando como soporte las herramientas informáticas ya implementadas en la red de telecomunicaciones de ETECSA.

Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, según la frecuencia con la que se suceden, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que pueda asignarse un orden de prioridades.

El nombre de Pareto fue dado por el Dr. Joseph Juran en honor al economista italiano Wilfredo Pareto (1848-1923), quien realizó un estudio sobre la distribución de la riqueza, en el cual descubrió que la minoría de la población poseía la mayor parte de la riqueza y la mayoría de la población poseía la menor parte de la riqueza. Con esto estableció la llamada Ley de Pareto, según la cual la desigualdad económica es inevitable en cualquier sociedad.

El Dr. Juran aplicó este concepto a la calidad, y se obtuvo lo que hoy se conoce como la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, puede decirse que el 20 % de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas sólo resuelven el 20 % del problema.

Por lo tanto, el Análisis de Pareto es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”. Una gráfica de Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema de los triviales, de manera que un equipo sepa a dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Reducir los problemas más significativos —las barras más

largas en una Gráfica Pareto—, servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños. Con frecuencia, un aspecto tendrá el 80 % de los problemas. En el resto de los casos, entre 2 y 3 aspectos serán responsables por el 80 % de los problemas.

La gráfica es útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y, de esta manera, utilizar los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos.

Resumen de las fallas más determinantes dentro de los sistemas de energía a través del Diagrama de Pareto

La siguiente tabla muestra un resumen de todas las interrupciones ocurridas durante el período comprendido entre el año 2002 y el 2007 después de aplicado el Diagrama de Pareto, donde aparecen reflejadas aquellas interrupciones que están dentro de la regla 80/20. Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, puede decirse que el 20 % de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas sólo resuelven el 20 % del problema. En consecuencia, pueden resumirse las principales interrupciones por sistemas que integran el 80 % del problema.

Subsistema	Falla	Cantidad de fallos	% Frecuencia de fallo
Rectificadores	Breaker disparado	41	65,55 %
	Cambio de rectificador	28	76,47 %
GTT	Se resetea el GTT*	54	66,25 %
Bancos de Batería	Sustitución de bancos de batería	31	40,38 %
	Ajuste de voltaje de flotación	10	80,77 %
	Sustitución de celdas	10	80,77 %
Grupo Electrónico	Sustitución de batería de arranque	72	75,68 %
	Sustitución de microprocesador	40	86,49 %
Presurizador	Cambio del presurizador	4	71,43 %
Climatización	Salidero de gas freón	105	85,38 %

*GTT: Generador de Tono y Timbre

Tabla 1 Resumen de las interrupciones de los sistemas de energía en el período 2002-2007

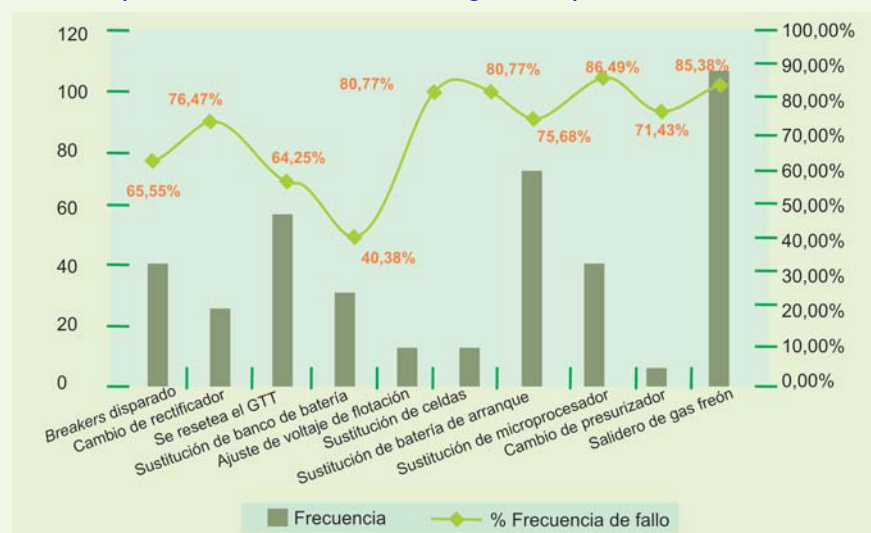


Figura 1 Interrupciones de los sistemas de energía del 2002-2007

Cálculo de la criticidad

Ante todo, debe definirse el Análisis de Criticidad como “una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos,

en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis”[1]. Esto significa que con ella se establecen las prioridades en procesos, sistemas y equipos, con la creación de una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, en la cual el esfuerzo y los recursos están dirigidos a las áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la situación que se vive en tiempo real. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: **confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento**. Lamentable y difícil, pero comprensiblemente no puede disponerse de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos para mejorar, al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro?

¿Que criterio debe utilizarse?

¿Todos los que toman decisiones utilizan el mismo criterio?

El análisis de criticidades responde a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, con la diferenciación de tres zonas de clasificación: **alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad**. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, con el inicio de las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad. Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática que genera puntuación para cada elemento evaluado.

El análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, que permiten subdividir los elementos en secciones para ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático, la criticidad puede expresarse como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado; y la consecuencia, con el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto, se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

ANÁLISIS DE CRITICIDAD



- 1.SEGURIDAD
- 2.AMBIENTE
- 3.PRODUCCIÓN O SERVICIO
- 4.COSTOS
- 5.TIEMPO PROMEDIO
- 6.FRECUENCIA DE FALLA

Criterios de Criticidad	Subsistema de Energía					
	Rectificad.	BBE	GTT	GE	Clima	Presuriz.
Seguridad						
Ambiente						
Producción						
Costos —criterio 80/20—	\$ 1,828.54			\$ 1,355.61		
Tiempo promedio para reparar (horas)	52080 hrs. —5,9 Años—			41388 hrs. —4,72 Años—	11545 hrs. —1,31 Años—	
Frecuencia de falla —seis años—	119	52	160	296	718	14

Tabla 2 Clasificación de los subsistemas de energía en función de los criterios de criticidad

En relación con los costos, se tuvieron en cuenta los dos subsistemas más críticos en cuanto a la cantidad de falla y se analizaron los determinantes que se encuentran en el 80 %. Por lo tanto, el cálculo del costo está en función de lo que cuesta la solución de estas fallas, se toma como valor el elemento unitario sustituido:

a) Rectificadores: frecuencia de falla —65,55 % & 76,47 %—

Primera falla (28): *breaker* disparado, en caso de ser sustituido, su valor es: \$10,27.

Segunda falla (41): sustitución de rectificador, el valor de uno de ellos es \$1828,54 .

b) Grupos electrógenos: frecuencia de falla —75,68 % & 86,49 %—

Primera falla (72): sustitución de batería de arranque, el valor unitario es \$160,5.

Segunda falla (40): sustitución de micro, el valor de uno de ellos es \$ 1195,11.

En cuanto al tiempo promedio, se realizó una suma de los tiempos en restablecer las fallas anteriormente explicadas.

a) Rectificadores: frecuencia de falla —65,55 % & 76,47 %—

Primera falla (28): *breaker* disparado, el tiempo promedio en restablecer el fallo fue de 136 hrs.

Segunda falla (41): sustitución de rectificador, el tiempo promedio en restablecer el fallo fue de 51943 hrs.

b) Grupos electrógenos: frecuencia de falla —75,68 % & 86,49 %—

Primera falla (72): sustitución de batería de arranque, el tiempo promedio en restablecer el fallo fue de 27709 hrs.

Segunda falla (40): sustitución de micro, el tiempo promedio en restablecer el fallo fue de 13678 hrs.

A partir del análisis anterior, pueden identificarse las tres zonas de criticidad de la siguiente manera:

Sistemas y Subsistema de Energía	Zonas de criticidad		
	Alta	Media	Baja
Sistema de Corriente Directa			
Rectificadores			
Baterías estacionarias			
Generadores de T. Timbre			
Sistema de corriente alterna			
Sistema de climatización			
Sistema de presurización			

Tabla 3 Identificación de las tres zonas de criticidad

Si se tiene en cuenta que se determinó de forma teórica y se considera la importancia del funcionamiento de cada elemento dentro de una Central Telefónica la zona de mayor criticidad, el procedimiento estuvo dirigido a desarrollar los métodos de Causa-Efecto y el Diagrama de Flujo a los Sistemas de Corriente Directa y, en específico, al Subsistema de Rectificadores.

Diagrama de causa y efecto

El Diagrama Causa-Efecto es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Se conoce también como Diagrama de Ishikawa —por su creador, el Dr. Kaoru Ishikawa, 1943—, o diagrama de Espina de Pescado y se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa. Este diagrama proporciona las causas de distinta importancia, trascendencia o proporción en el análisis de un problema. Algunas de ellas pueden tener relación con la presentación u origen del mismo; y otras, con los efectos que este produce.

En el diagrama se muestran las causas del problema que se estudia para analizarlas. Es llamado Espina de Pescado porque la forma en que se van colocando cada una de las causas o razones, que a entender originan un problema, simulan el esqueleto de un pez. Tiene la ventaja que permite visualizar, de una manera muy rápida y clara, la relación que tiene cada una de las causas con las demás razones que inciden en el origen del problema. En algunas oportunidades son causas independientes; y en otras, existe una íntima relación entre ellas, las que pueden estar actuando en cadena.

La mejor manera de identificar todos los problemas es a través de la participación de los miembros del equipo de trabajo y lograr que los participantes vayan enunciando sus sugerencias. Los conceptos que expresen las personas, se colocarán en diversos lugares.

El resultado obtenido será un Diagrama de Ishikawa e incluye los siguientes elementos:

- ♦ El problema principal que se desea analizar, se coloca en el extremo derecho del diagrama. Se aconseja encerrarlo en un rectángulo para visualizarlo con facilidad.

- ♦ Las causas principales que a nuestro entender han originado el problema.

Gráficamente está constituida por un eje central horizontal que es conocido como “línea principal o espina central”. Posee varias flechas inclinadas que se extienden hasta el eje central, al cual llegan desde su parte inferior y superior, según el lugar donde se haya colocado el problema que se estuviera analizando o descomponiendo en sus propias causas o razones. Cada una de ellas representa un grupo de causas que inciden en la existencia del problema. Estas flechas, a su vez, son tocadas por flechas de menor tamaño que representan las “causas secundarias” de cada “causa” o “grupo de causas del problema”.

El Diagrama que se efectúe debe tener escrito, claramente, el nombre del problema analizado, la fecha de ejecución, el área de la empresa a la cual pertenece y puede, incluso, colocarse información complementaria, por ejemplo, el nombre de quienes lo hayan ejecutado, etc.

Permite, en consecuencia, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustitutivo de los datos. Es importante ser conscientes de que **los diagramas de causa-efecto presentan y**

organizan teorías. Sólo cuando estas teorías son contrastadas con datos pueden probarse las causas de los fenómenos observables.

Errores comunes son construir el diagrama antes de analizar globalmente los síntomas, limitar las teorías propuestas enmascarando involuntariamente la causa raíz o cometer errores tanto en la relación causal como en el orden de las teorías; esto supone un gasto de tiempo importante.

Al aplicar estos conceptos a las averías de clima, para así explicar los Diagramas de Causa-Efecto, se siguen los siguientes pasos:

- ♦ Se decide cuál va a ser la característica de calidad que se analizará, por ejemplo, en el caso de los equipos de climatización, podría ser el estado técnico del equipo, la calidad del mantenimiento, la capacidad del equipo, etc.

- ♦ Se traza una flecha gruesa que representa el proceso y a la derecha se escribe la característica de calidad:



- ♦ Se indican los factores causales más importantes y generales que puedan generar la fluctuación de la característica de calidad, con flechas secundarias hacia la principal, por ejemplo, equipos, método de medición, materiales, métodos de trabajo, etc.:

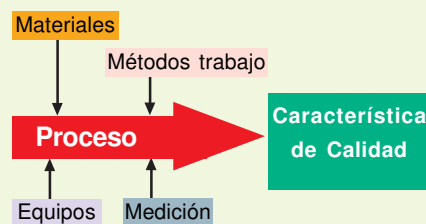


Diagrama Causa-Efecto en los sistemas de corriente directa (Rectificadores)

Un diagrama de causa y efecto es útil para ayudar a clasificar las causas de dispersión y organizar las relaciones mutuas.

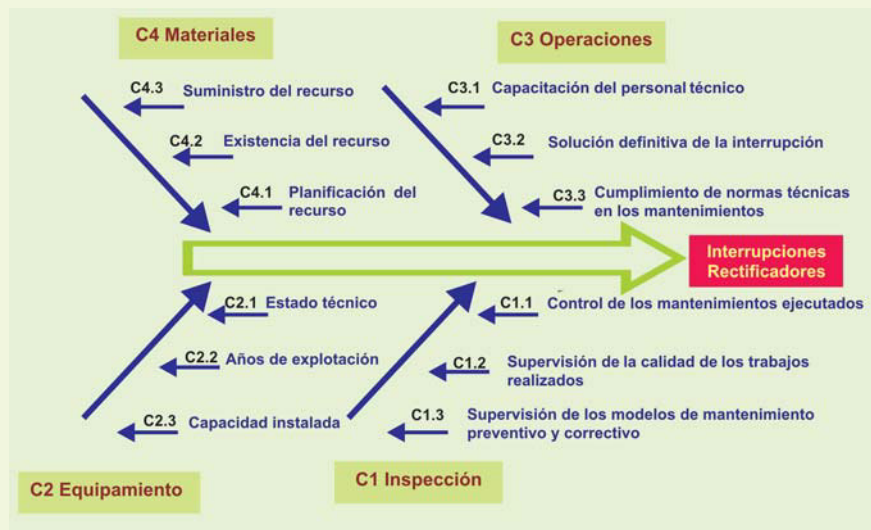


Figura 2 Diagrama Causa-Efecto en los sistemas de corriente directa

I. Plan de medidas para los pocos esenciales identificados

1) C1– Inspección:

C1.1: control de los mantenimientos ejecutados

C1.2: supervisión de los trabajos realizados

C1.3: supervisión de los modelos de mantenimiento preventivo y correctivo

2) C2 – Equipamiento:

C2.1: estado técnico

C2.2: años de explotación

C2.3: capacidad instalada

3) C3 – Operaciones:

C3.1: capacitación del personal

C3.2: solución definitiva de interrupciones

C3.3: cumplimiento de normas técnicas en los mantenimientos

4) C4 – Materiales:

C4.1: planificación del recurso

C4.2: existencia del recurso

C4.3: suministro del recurso

Para garantizar que todos estos elementos afecten el correcto funcionamiento de los rectificadores es necesario:

C1– Inspección:

a) PM1: garantizar el personal calificado en cada unidad de intervención y mantenimiento que sea capaz de chequear la ejecución de los mantenimientos preventivo y correctivo.

b) PM2: el Especialista en Energética y el Jefe de Taller de Energética, son los encargados de la supervisión de los mantenimientos ejecutados por los operarios del taller de energética así como los de contratos a terceros.

c) PM3: el Especialista en Energética y el Jefe de Taller de Energética son los encargados del chequeo de los modelos de mantenimientos, los cuales tienen que ser llenados correctamente por el personal que los ejecuta.

C2 – Equipamiento:

a) PM4: los Especialistas en energética tienen que manejar la documentación necesaria del equipamiento instalado de modo tal que sea capaz de realizar un análisis exhaustivo en cuanto a:

♦ **Capacidad instalada:** para determinar si el equipamiento instalado es suficiente en la función que realiza o no y, de esta forma, alargar su vida útil y evitar el deterioro por mal funcionamiento.

♦ **Años de explotación:** para determinar el tiempo promedio de vida del equipo y solicitar con tiempo suficiente su sustitución y, así, evitar incurrir en gastos de mantenimiento aumentados e innecesarios.

♦ **Estado técnico:** mediante un diagnóstico visual, determinar si el estado técnico del equipo o partes y accesorios cumplen los requisitos fundamentales para el funcionamiento y determinar si es necesaria su sustitución parcial o total.

C3 – Operaciones:

a) PM5: garantizar la capacitación del personal técnico en cuanto a las operaciones a realizar en los mantenimientos preventivos y correctivos, de modo que sea capaz de diagnosticar una futura falla del sistema para evitar pérdidas en el servicio.

b) PM6: el personal técnico debe ser lo suficientemente capaz para diagnosticar y solucionar la falla, e impedir que esta se repita posteriormente.

c) PM7: el personal técnico tendrá la obligación de respetar los procedimientos descritos en las normas técnicas durante la ejecución del mantenimiento, los cuales no podrán ser violados, con la excepción de causas mayores, que podrían ser la falta de un recurso determinado, pero nunca por olvido o descuido.

C4 – Materiales:

a) PM8: la Especialidad de Energética en su conjunto tiene que garantizar la planificación del recurso necesario en los talleres de energética para garantizar el cum-

plimiento de los mantenimientos y, de este modo, garantizar la vida útil del equipo.

b) PM9: la Subgerencia de Energética tiene que garantizar la pronta asignación del recurso solicitado en aras de disminuir los tiempos de falla del equipamiento y, si la pieza solicitada es de alta demanda, garantizar un *stop* en el almacén para garantizar el servicio.

c) PM10: la Especialidad de Energética en su totalidad tiene que interactuar con los encargados del suministro y traslado del recurso, para que este se ejecute con la mayor brevedad posible.

II. Procedimiento para garantizar el cumplimiento del plan de medidas para los pocos esenciales identificados

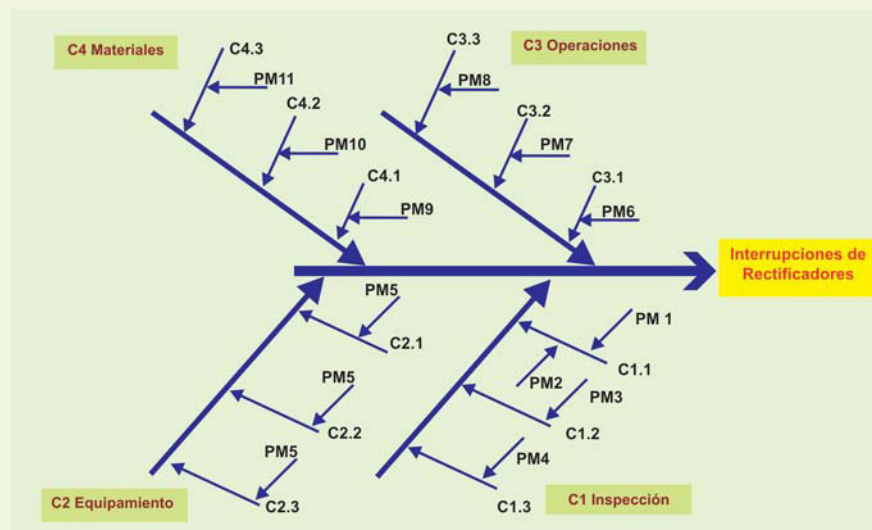


Figura 3 Diagrama Causa-Efecto para el cumplimiento del plan de medidas

Diagrama de Flujo

El Diagrama de Flujo o Flujograma consiste en expresar gráficamente las distintas operaciones que componen un procedimiento o parte de este, y establece su secuencia cronológica. Según su formato o propósito, puede contener información adicional sobre el método de ejecución de las operaciones, el itinerario de las personas, las formas, la distancia recorrida, el tiempo empleado, etc. Su importancia radica en que ayuda a designar cualquier representación gráfica de un procedimiento o parte de este. El Flujograma de Conocimiento o Diagrama de Flujo, como su nombre lo indica, representa el flujo de información de un procedimiento.

En la actualidad los flujogramas son considerados en la mayoría de las empresas o departamentos de sistemas como uno de los principales instrumentos en la realización de métodos y sistemas, debido a que permiten la visualización de las actividades innecesarias y verifican si la distribución del trabajo está equilibrada, es decir, bien distribuida en las personas, sin sobrecargo para algunas mientras otros trabajan con mucha holgura.

Asimismo, el Diagrama de Flujo ayuda al analista a comprender el sistema de información de acuerdo con las operaciones de procedimientos incluidas, le ayudará a analizar esas etapas con el fin tanto de mejorarlas como de incrementar la existencia de sistemas de información para la administración.

Características que deben poseer los flujogramas:

♦ **Sintético:** la representación que se haga de un sistema o un proceso deberá quedar resumido en pocas hojas, de preferencia en una sola. Los diagramas extensivos dificultan su comprensión y asimilación, por lo tanto, dejan de ser prácticos.

♦ **Simbolizado:** la aplicación de la simbología adecuada a los diagramas de sistemas y procedimientos evita a los analistas anotaciones excesivas, repetitivas y confusas en su interpretación.

♦ **De forma visible a un sistema o proceso:** los diagramas permiten observar todos los pasos de un sistema o proceso sin necesidad de leer notas extensas. Un diagrama es comparable, en cierta forma, con una fotografía aérea que contiene los rasgos principales de una región, y que a su vez permite observar estos rasgos o detalles principales.

Diagrama de Flujo para los Sistemas de Corriente Directa

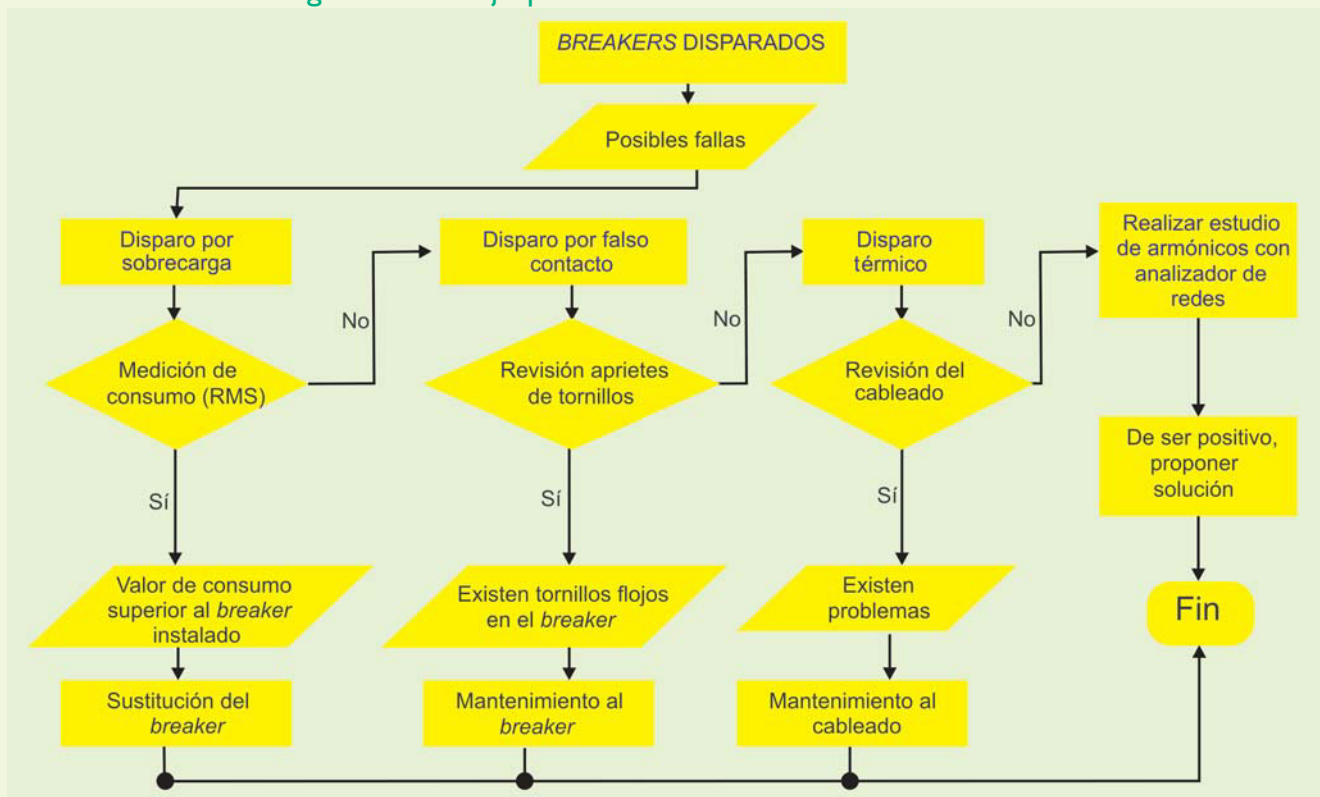


Figura 4 Análisis a los Subsistemas de Rectificadores: Falla # 1: Breakers disparados

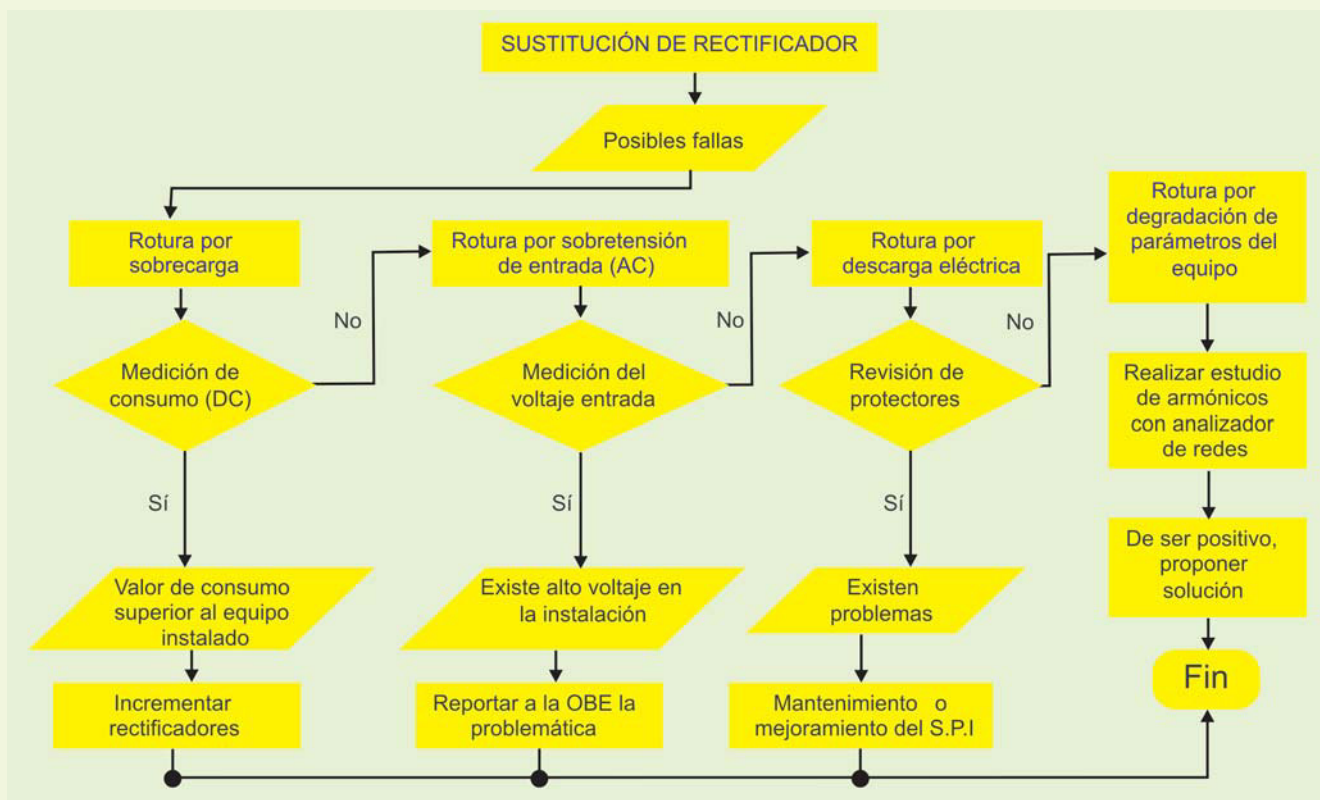


Figura 5 Análisis a los Subsistemas de Rectificadores: Falla # 2: Sustitución de rectificador

Conclusiones

En este trabajo se utilizaron diferentes criterios probabilísticos en el análisis de las fallas en los sistemas de energía y se tuvo como resultado que:

- ♦ Se detectaron los problemas de mayor relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto.
- ♦ Se determinó la criticidad del soporte de energía, lo cual permitió establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, para crear una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas y efectivas, conducir el esfuerzo y los recursos en áreas más importantes o necesarias con el propósito de mejorar la confiabilidad operacional, basada en la realidad actual.
- ♦ Se organizaron y representaron las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema a partir del Diagrama Causa-Efecto.
- ♦ Se expresaron gráficamente las distintas operaciones que componen un procedimiento o parte de este, con el establecimiento de su secuencia cronológica a través de un Diagrama de Flujo encaminado a orientar el trabajo sobre las fallas del soporte de energía.

Luego de realizar un análisis de los fallos presentados en la red de telecomunicaciones, en un período de seis años (2002-2007), y de tener en cuenta los criterios anteriormente mencionados, se puede afirmar que los sistemas más **vulnerables** son los **Sistemas de Corriente Directa** y, dentro de ellos, el **Subsistema de Rectificadores**. Por lo tanto, si se aplican los modelos probabilísticos utilizados, los planes de medidas y diagramas de flujo propuestos, se podrán evitar, minimizar o solucionar las fallas más frecuentes y de mayor peso para garantizar, de esta forma, que la red de telecomunicaciones sea lo más estable posible, y ofrezca un servicio de calidad. 

Bibliografía

"Brainstorming". Disponible en: <http://web.jet.es/amozarrain/brainstorming.htm>. (Consulta: septiembre/2007).

"Diagrama Causa-Efecto". Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/diagcausefec.htm>. (Consulta: septiembre/2007).

"Diagrama de Pareto". Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/eco/diagramapareto.htm>. (Consulta: septiembre/2007).

Huerta Mendoza, Rosendo. "El análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional". Disponible en: http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf. (Consulta: junio/2007).

Instrumentos para generar ideas, analizar y recopilar información. Matanzas, Cuba: Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Matanzas, 2001.