REPÚBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

Título: **"MÉTODO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD EN LA RED DE MEDIA TENSIÓN DE LA EMPRESA ECG."**

Autora: Yohannis Vielza Montero

Tutores: Ing. Rafael García Acuña

Ing. Daniel Mendiola Ellis

Moa, 2010

Declaración de Autoridad

Al lector y potencial usuario del contenido de este informe:

Sirva esta declaración para establecer los derechos de uso de la información contenida en el informe a favor del ISMM, y compartida con el Taller Eléctrico de la empresa ECG; siempre en correspondencia con los principios éticos, morales y las leyes sobre derecho de autor en el sistema legal vigente.

Firmado: _____

Yohannis Vielza Montero

Dedicatoria

Dedico este modesto trabajo fruto del esfuerzo de un grupo de personas que me apoyó a mi patria y a la Revolución Cubana.

Agradecimientos

A mis padres, por el amor y el apoyo durante toda mi vida.
A mis hermanos y familiares por su comprensión y cariño.
A mis maestros y profesores por dedicar su vida a nuestra preparación para la vida y que seamos útiles a la patria.
A mis compañeros de trabajo por su soporte, amistad y ayuda.
A la Revolución, al Partido Comunista de Cuba y al Comandante en Jefe por ser la razón de todo cuanto somos y cuanto hacemos.

Pensamientos

"Revolución: es cambiar todo lo que debe ser cambiado"… Fidel Castro Ruz

Índice

1. CAPÍTULO INTRODUCTORIO ... 1
Introducción ... 1
Red de media tensión en la ECG. Problemas ... 4
Evaluación de confiabilidad en la red de media tensión en la ECG. ... 7
Problema de investigación ... 9
Hipótesis ... 10
Objetivos ... 11
Tareas de investigación ... 12
2. CAPÍTULO I "ESTADO DEL ARTE" ... 13
1.1 Métodos de estudio de la confiabilidad ... 15
1.1.1 Algoritmos ... 20
1.1.2 Consideraciones ... 21
1.2 Métodos técnicos y teóricos de evaluación del estado de las redes ... 24
1.3 Estudios de confiabilidad en la red eléctrica de la ECG ... 38
3. CAPÍTULO II ... 41
"PARAMETRIZACIÓN DEL OBJETO " ... 41
2.1 Procedimientos de medición. ... 42
2.2 Método de las pendientes. ... 45
2.3 Evaluación de confiabilidad actual de la red de media tensión, ... 47
4. CAPÍTULO III ... 53
"APLICACIÓN DE PROPUESTAS" ... 53
3.1 Datos de mediciones. ... 53
3.2 Procesamiento. ... 56
3.3 Selección de objetos ... 57
3.4 Aplicación por estados. ... 58
3.4.1 Estado casos periódicos ... 58
3.4.2 Estado casos especiales. ... 60
3.4.3 Valoración de tendencias. ... 62
3.5 Aspectos económicos ... 63
3.5.1 Valoración por predicciones ... 64
5. CONCLUSIONES ... 64
6. RECOMENDACIONES. ... 65
7. BIBLIOGRAFÍA ... 66
8. ANEXOS ... 67

1. CAPÍTULO INTRODUCTORIO

Introducción

BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO.

En la fábrica del níquel "Ernesto Che Guevara" se utiliza la tecnología de lixiviación Carbonato Amoniacal de mineral previamente reducido, y tiene como objetivo primordial la obtención de Sínter (Oxido de níquel granulado) con un contenido de níquel de un 86,4 % aproximadamente.

Esta fabrica esta compuesta por las siguientes secciones y plantas, de acuerdo con el esquema tecnológico para el tratamiento del mineral:

1. ***La Mina**:* Con la secciones de desarrollo, escombreo, extracción y trasporte de minerales. El objetivo de esta actividad es el de mantener un suministro cuantitativo- cualitativo y estable de mineral a la Industria.

   El objetivo de esta sección no es más que la preparación del mineral y para ello cuenta con dos trituradoras de martillo en la parte de trituración primaria y secundaria, tres trasportadores que son los encargados de llevar el mineral al depósito de homogeneización. En la sección de molienda el mineral es molido en molino de bolas y de ahí es almacenado en lo silos.
2. ***Preparación de mineral:*** Con la secciones de recepción y trituración primaria, sección de trituración secundaria, sección de secaderos, almacén de mineral abierto y almacén de mineral cerrado de emergencia y sección de moliendo con los silos.. La homogeneización se realiza por trasporte viajera de jaibas (Grúas); a demás cuenta con los secaderos cuya función es el de secado de mineral hasta la humedad de 4 a 5 % para lo que tienen los tambores secadores con los dispositivos a tiristores y los Exhauster.

   El mineral una vez secado pasa a la sección de molienda, en la cual se culmina el proceso de preparación. En la sección de molienda el mineral es reducido a polvo en molino de bola y de ahí es almacenado en los silos.
3. ***Planta de Hornos de Reducción:*** el objetivo de esta planta es la reducción del mineral, la misma se realiza en hornos de soleras múltiples (16 Soleras) tipo herreshof, como combustible se utiliza el Fuel oil con un bajo contenido de azufre.

Para cada dos Hornos existe una tolva común donde se suministra el mineral. Desde esta tolva el mineral se suministra a los pisos superiores de los hornos y luego pasa sucesivamente a través de las 16 soleras calentándose hasta una temperatura de 75 grados Celsius.

El gas reductor se obtiene a través de la gasificación del petróleo combustible que se le adiciona al mineral antes de ser molido.

4. ***Planta Lixiviación y Lavado:*** la lixiviación se realiza por licor carbonato amoniacal (6% de amoniaco y 3% de acido carbónico) y la reacción de la pulpa posterior. En cada etapa de lixiviación se instala turboareadores y espesadores conectados en serie.

   En esa sección el mineral pasa a través de tres sistemas paralelos de tres etapas de lixiviación a contracorriente.

   Esta planta cuenta también con los intercambiadores de calor con camisas tubulares para el enfriamiento del licor, el cual se suministra a la Planta de Hornos para mezclarse con el mineral reducido. La pulpa de cola se bombea a la Planta de recuperación de amoniaco, donde se realiza la recuperación del níquel como carbonato básico y la del Amoniaco.

5. ***Recuperación de amoniaco:*** El licor producto pasa a través de tres etapas de aereación con el fin de oxidar y precipitar el hierro, después es sometido a filtración en filtros de hojas luego de la limpia del hierro el licor se suministra a los alambiques donde se somete a tratamiento por vapor forzándolo a pasar de un plato otro.

   El Amoniaco y acido Carbónico se eliminan del licor, mientras el Carbonato del níquel básico se precipita. La pulpa de carbonato de níquel desde los alambiques es sometida a espesamiento.

6. ***Planta de Calcinación y Sínter:*** El carbonato de níquel se calcina en los hornos tubulares calentado por el fuell oil. El oxido de níquel que se descarga de los hornos se enfrían en los enfriadores montados sobre los hornos, los enfriadores son roseado con agua.

   El oxido de níquel enfriado se tritura en la trituradora de martillo y el material triturado se envía ya sea a la tolva del producto terminado o a la fabricación del Sínter.

   Para obtener el sínter (oxido de níquel) se mezcla con antracita, polvo y fracción fina de retorno de sínter. Esta mezcla se suministra a la máquina

de sinterización donde se realiza una reducción parcial del oxido de níquel hasta el metal.

El sínter se enfría y luego es sometido a trituración en dos etapas en la trituradora de rodillo y zarandeo posterior.

IMPORTANCIA ECONÓMICA.

Por su aplicación el níquel esta considerado entre los seis principales metales no ferrosos, conjuntamente con el cobre, el zinc, el aluminio, el estaño y el plomo.

Este metal posee un conjunto de propiedades únicas que le garantizan un lugar importante en la industria moderna. La trascendencia de dicho metal proviene de su excepcional fortaleza, de su resistencia a la corrosión y temperatura.

Se estima que el níquel esta presente en unas tres mil aleaciones no ferrosas para aumentar la resistencia a la corrosión, también se le emplea en la fabricación de monedas, cubiertos de mesa, utensilio de cocina y efecto eléctricos.

Otras explicaciones la encontramos en la industria del transporte, máquinas herramientas, equipos generadores de energía, industrias aeroespaciales, plantas termonucleares, instalaciones desalinizadoras de agua de mar, etc.

De acuerdo a los depósitos niquelíferos estudiados hasta la fecha y según el buró de mina de Estados Unidos la distribución de las mayores reservas niquelíferas del mundo hasta el año 1985, Cuba posee 18 144 000 TNC, lo que la sitúa como la mayor reserva del mundo, con un 34.4%.

Sin embargo si se tiene en cuenta las ofertas y las demandas del mercado mundial y analizando la estadística de las mayores productores, como son: Cubaníquel, Inco, Metall Geselashat, Sociatele níkel, Metalbulletin, Buró de Minas de Canadá, Shearson and Lehman y Heinz M; se observa que en todos los casos la demanda de este producto es ligeramente superior a su oferta.

Lo anterior corrobora la importancia que para nuestro país reviste esta fábrica de níquel, que deberá estabilizar su producción

Para lograr y mantener este objetivo, se hace necesario reducir al máximo posible los costos, esto requiere entre otras cosas de estabilidad operativa y máximo tiempo de operación, por lo que el número de interrupciones, así como su magnitud en el sistema de suministro eléctrico de alto voltaje debe ser

constante objeto de estudio, trabajo y búsqueda de soluciones. En general la afectación de la economía nacional se compone de las perdidas con afectaciones de la empresa, debido a las siguientes causas:

1. Producción defectuosa parcial o total durante el tiempo de desconexión de la empresa.
2. Deterioro parcial o total de la instalación.
3. Desorganización del proceso tecnológico que puede prolongarse por tiempo indefinido después de restablecer el servicio. La producción de la empresa se restablece paulatinamente.
4. Remuneración del personal inactivo durante el periodo sin servicio.
5. Pagos de pensiones a trabajadores cuya capacidad laboral se vio afectada total o parcialmente por accidentes causados por falta de suministro eléctrico.
6. Deterioro de todos los indicadores técnicos, productivo y por tanto afectación a los costos.

Es por ello que el cálculo del grado de confiabilidad del suministro en los cálculos técnicos económicos da la posibilidad de seleccionar los parámetros fundamentales del sistema de alimentación de una manera más efectivos.

El sistema de suministro eléctrico de una empresa, deberá ser lo suficientemente flexible como para permitir el constante desarrollo de la tecnología, el impetuoso crecimiento de la potencia de la empresa y el cambio de las condiciones de producción de esta.

Red de media tensión en la ECG. Problemas

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO.

El sistema de suministro eléctrico de la Fábrica ECG es radial y provee doble alimentación. Los transformadores tipo TRDH- 40 000/10 000 17.6 T-Y de 40MVA enlazan la Central Termoeléctrica con el sistema electroenergético nacional (SEN). La conexión proveedora principal llega a los trasformadores de enlace T1 y T2 procedente de la subestación 220/110 kV de Punta Gorda por medio de dos líneas aéreas de 110 kV con cables AC-185 mm^2. La salida de los dos trasformadores esta conectada a la secciones de barras del Dispositivo de Distribución Principal (DDP) de la empresa (Sección II y IV). Además

cuenta con dos Turbogeneradores (G1 y G2) marca Skoda de producción checa tipo T-32 los cuales alimentan las secciones de barra I y II.

El Dispositivo de Distribución Principal esta conformado por cuatro secciones, entrelazados a través de un reactor y un interruptor de poco volumen de aceite de tipo ВМПЕ-10-1250-20 de la forma siguiente: I con II, II con III, III con IV y IV con I. Todas estas secciones esta alimentadas con 10.5 kV, a continuación de detalla sobre ellas:

Sección I: Las barras están alimentadas con 10.5 kV por el Turbogenerador G1 a través del interruptor de poco volumen de aceite y se encuentra en el gabinete # 19 y a su vez esta sección alimenta a:

1. La sección I de la subestación distribuidora 1RP (gabinete #16).
2. La subestación TP-7 y TP-20 (gabinete #2).
3. El trasformador IT de la sección I de la 2RP (gabinete #6)
4. Subestación distribuidora de las necesidades propias de la central termoeléctrica; (los trasformadores 2IT 8 4IT de consumidores de la termoeléctrica).

Sección II: Las barras están alimentadas con 10.5 kV por el trasformador T1 de 40 000 kVA el cual alimenta la sección II de la subestación distribuidora 1RP (gabinete #38), la subestación trasformadora TP-6 y TP-8 (gabinete #24), la sección I de la subestación distribuidora 5RP (gabinete #26) y el trasformador 2T de la sección II y IV de la 2RP (gabinete # 28).

Sección III: Las barras están alimentadas con 10.5 kV, por el Generador G2 de 12 MW a través del interruptor de poco volumen de aceite (gabinete #67) luego esta sección alimenta la sección III de la sección distribuidora 1RP (gabinete #56), la subestación trasformadora TP-14 y TP-12 (gabinete #42) y la sección II de la subestación distribuidora 5RP (gabinete #46), la sección IV esta alimentada por el trasformador 2T de 40 MVA y a su ves alimenta la sección IV de la subestación 1RP (gabinete # 78), la subestación trasformadora TP-14 y TP-12 (gabinete #66) el trasformador 3T de la sección III de la 2RP (gabinete #68).

Vea Anexo II para completar la descripción del sistema de suministro en media tensión de la ECG.

ANALISIS DEL CABLEADO DE ALTO VOLTAJE DE LA EMPRESA.

Los consumidores industriales de producción y servicio para el cumplimiento de sus funciones deben ser abastecidos con la energía eléctrica necesaria.

Los conductores utilizado para transmisión de la energía en esta parte de alto voltaje son cables trefilares del tipo AAΨB-T. El aislamiento de los conductores esta hecho con papel especial impregnado en aceite y luego en una capa aislante de una goma plástica. El grueso del aislamiento y la capa aislada depende de la tensión.

La cubierta hermética está hecha de aluminio y de policloruro de vinilo, la cual protege al cable de la acción del medio ambiente (humedad, polvo, vibraciones, etc) y daños mecánicos leves.

Estos conductores llevan en explotación un promedio de 25 años siendo este tiempo mayor que el que otorga el fabricante para la explotación segura de estos medios "En el proceso de explotación, en el aislamiento de los cables surgen procesos lentos que cambian su estructura. En este caso tiene lugar la reducción de la rigidez eléctrica, mecánica y la destrucción del aislamiento, es decir su "envejecimiento". El envejecimiento del aislamiento depende directamente de la calidad de los materiales aislantes, la perfección de la estructura del aislamiento y de la tecnología de su fabricación. En condiciones normales, el aislamiento puede servir bien en el transcurso de un tiempo prolongado, este tiempo esta reglamentado que sea el que el fabricante especifica, si se violara esto, se estaría atentando en contra del sistema eléctrico de la empresa, pudiendo traer esto como consecuencia afectaciones graves a la producción.

Al mismo tiempo el proceso de envejecimiento del aislamiento se acelera substancialmente cuando influyen negativamente agentes externos, tales como:

1. ***Humedad:*** Este agente ha causado numerosas averías en los cables que alimentan la mina, debido a que este en una gran parte estuvo bajo agua, lo cual provocó su deterioro y por ende se produjeron las averías.
2. ***Corrosión:*** Este agente ha causado grandes deterioros en la bandeja que soportan los cables, en algunos tramos en cableado no tiene ni siguiera bandeja que los sostengan, por lo que están sometido a esfuerzos mecánicos para los que no fueron calculados.

3. ***Altas temperaturas:*** Provocada por altas cargas eléctricas en equipos y cables, falsos contactos, cercanía de equipos tecnológicos calientes etc. Su efecto hace el aceite que contienen los cables, pierde viscosidad y se derrama por las copas y empalmes que de no detectarse a tiempo se cubre de polvo y otras impurezas que crean la pasibilidad de fallos o cortocircuitos.
4. ***Empalmes:*** Los empalmes son puntos esenciales de todo circuito eléctrico y sus requerimientos básicos estriban en su rigidez, tanto desde el punto de vista mecánico como eléctrico como eléctrico no deben ser inferior al del cable a que pertenecen. Deben emplearse para asegurar el buen contacto eléctrico y el aislamiento (si fuese necesario). Los empalmes en la fábrica se ejecutan con materiales importados de la antigua Unión Soviética y están vencidos en su mayoría; luego existen cables en pésimas condiciones, como lo de la Mina.

Evaluación de confiabilidad en la red de media tensión en la ECG.

El objetivo de la evaluación de confiabilidad de una red eléctrica, sea esta de distribución, transmisión o industrial es determinar índices que reflejen la calidad de servicio.

Los principales problemas de calidad de la red eléctrica de la ECG son los siguientes:

a) Interrupción del suministro de energía eléctrica
b) Interrupción transitoria del suministro de energía eléctrica.
c) Transitorios.
d) Mala regulación de voltaje.
e) Distorsión armónica.
f) Elevación de los voltajes de neutro y tierra.

La confiabilidad del servicio de energía eléctrica, medida a través de índices de desempeño, tiene dos orientaciones diferentes: el registro de eventos pasados y la predicción de confiabilidad.

La predicción de índices de confiabilidad pretende determinar el comportamiento que tendrá la red, basado en el desempeño pasado, y ayudar en la toma de decisiones sobre modificaciones de elementos componentes de la red y/o topología.

Para el caso del registro de eventos en la ECG existe Ausencia de Trabajo Preventivo pues no se realizan las pruebas a los cables de media tensión con la sistematicidad que los mismos requieren, lo que implica a su vez la inexistencia de estudios de confiabilidad.

Problema de investigación

No existen en la ECG métodos y pruebas sistemáticas que midan la confiabilidad en las redes y sistemas eléctricos, lo que unido al estado de las redes provocan necesidades de los mismos**.**

Hipótesis

Es posible crear un método para mejorar la confiabilidad en la redes de media tensión en la ECG.

Objetivos

Conformar un método para el estudio y organización dinámica de las pruebas a los cables de la red de media tensión que viabilicen mejoras en la confiabilidad.

Tareas de investigación

- Recolectar datos sobre mediciones y red de distribución.
- Procesamiento y composición de series de datos sobre redes y cables.
- Propuesta de método para evaluación de la red incorporable en metodología abarcadora de evaluación de confiabilidad.
- Evaluar resultados comparativos sobre selección de elementos para validación de método propuesto.
- Elaborar propuesta de metodología para mejorar la confiabilidad de la red.

2.CAPÍTULO I "ESTADO DEL ARTE"

Hoy en día es importante diseñar y operar sistemas eléctricos que no sólo tengan la máxima eficiencia sino que presten su servicio bajo normas de calidad. Las normas aceptadas establecen que la energía eléctrica debe distribuirse bajo distorsiones de la onda y número de interrupciones en términos de valores aceptables. En tal sentido, la calidad de energía eléctrica se puede definir como los requerimientos de las variaciones de las ondas y de la continuidad que satisfacen las necesidades de sus consumidores o clientes. Ésta se evalúa en función de los valores admisibles que garanticen el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos. La calidad de la energía eléctrica puede dividirse en dos grandes temas: la calidad de la potencia eléctrica (la cual se refiere a las variaciones en la forma, frecuencia y amplitud de las señales de corriente y tensión) y la continuidad del servicio, para la cual se consideran las interrupciones del suministro eléctrico [1].

Los principales problemas de calidad de la red eléctrica son los siguientes:

a) Interrupción del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas por fallas en las plantas generadoras, en cortes en las líneas de distribución o desconexión de la carga debido a sobrecarga del sistema, se caracterizan por la pérdida total del suministro por más de un minuto.
b) Interrupción transitoria del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas generalmente por la apertura y cierre de interruptores, se caracterizan por la interrupción del servicio durante menos de un minuto.
c) Transitorios. Se caracteriza por un voltaje impulsivo de alto valor, pero de corta duración, ocasionado en general por la conexión de condensadores o la desconexión de cargas inductivas, tales como motores de inducción, soldadoras de arco, etc.
d) Mala regulación de voltaje. Se caracteriza por bajas o subidas de voltaje de duración superior a un minuto. Se debe, en general, a un mal ajuste de los transformadores de alimentación del sistema, particularmente su voltaje y a un diseño del sistema no apropiado a la demanda de los usuarios. Una demanda alta de los usuarios ocasiona una baja del voltaje

y, por el contrario, una demanda baja hace subir el voltaje por sobre lo permitido.

e) Desbalance de voltaje. Se caracteriza por la existencia de asimetría en una de las tres fases de un sistema trifásico. Se debe, en general, a que el consumo está conectado fundamentalmente a una sola de las fases del sistema.
f) Flicker o parpadeo de la iluminación. Se caracteriza por una fluctuación del voltaje que ocasiona el centelleo de la iluminación, visible por el ojo humano. Se debe, fundamentalmente, a la conexión y desconexión de consumos relevantes, tales como el refrigerador o la calefacción intra-domiciliaria, conexión de hornos y soldadoras de arco, etc.
g) Distorsión armónica. Se caracteriza por una distorsión del voltaje de alimentación de los equipos, el que deja de ser perfectamente sinusoidal. Se debe, fundamentalmente a la conexión de cargas no lineales en el sistema, tales como equipos electrónicos industriales o domiciliarios: variadores de velocidad de motores, televisores, computadores, etc. El fenómeno puede acentuarse hasta el punto de ocasionar daños irreparables, caso en el que recibe el nombre de resonancia armónica, la que se debe fundamentalmente a la interacción entre los condensadores de compensación de factor de potencia y las reactancias de los transformadores de alimentación del sistema.
h) Elevación de los voltaje de neutro y tierra. Se caracteriza por una diferencia de voltaje entre el neutro y la tierra del sistema. Se debe, fundamentalmente a que circulan corrientes elevadas por el conductor de neutro y/o por el conductor a tierra, o bien porque su dimensionamiento es inadecuado.

La combinación de factores que permiten valorar el trabajo integral de un sistema eléctrico se relacionan más allá de la calidad del servicio o de la energía y engloban compromisos técnicos y económicos.

El análisis de las interrupciones con la idea de minimizar sus causas, se realiza de diversas formas y, esto constituye la base de la teoría de confiabilidad.

Para evaluar el impacto de las interrupciones a los usuarios en los sistemas de distribución se han establecido los índices de confiabilidad. Estos índices

permiten evaluar el desempeño de estos sistemas y, en muchos casos, establecer las mejoras a implementar para disminuir las interrupciones y, en consecuencia, las pérdidas por este concepto y los costos por las sanciones contempladas en la legislación.

La forma metodológica que se asume son los llamados estudios de confiabilidad.

La confiabilidad abarca elementos cuantitativos y cualitativos tanto a nivel de elementos como a nivel de sistema generando en consecuencia una pléyade de métodos y condiciones de aplicación, y un esbozo de algunos de estos son puestos a consideración, aunque de forma somera en el siguiente epígrafe.

1.1 Métodos de estudio de la confiabilidad

La idea sobre la confiabilidad en la operación de un equipo o sistema, se relaciona con su habilidad o capacidad de realizar una tarea específica durante cierto periodo de tiempo. Por esta razón, normalmente es considerada una propiedad cualitativa más que cuantitativa. Sin embargo, se debe convenir en que, en la práctica ingenieril, resulta mucho más atractivo disponer de un índice cuantitativo.

Esta cuantificación de la habilidad de un sistema, se denomina confiabilidad, o bien fiabilidad y puede expresarse por una gran variedad de índices, dependiendo de los objetivos que se persigan con la evaluación.

El objetivo de la evaluación de confiabilidad de una red eléctrica, sea esta de distribución, transmisión o industrial es determinar índices que reflejen la calidad de servicio que presenta el sistema para el usuario final.

La confiabilidad del servicio de energía eléctrica, medida a través de índices de desempeño, tiene dos orientaciones diferentes: el registro de eventos pasados y la predicción de confiabilidad.

La predicción de índices de confiabilidad pretende determinar el comportamiento que tendrá la red, basado en el desempeño pasado, y ayudar en la toma de decisiones sobre modificaciones de elementos componentes de la red y/o topología.

Se describen a continuación algunas técnicas de modelación y evaluación de confiabilidad, orientadas a predecir índices de comportamiento futuro.

Existen dos clases de métodos para evaluar la confiabilidad: los métodos de simulación estocástica y los métodos de análisis.

De los métodos de simulación estocástica, el más conocido es el de Monte Carlo y, entre los métodos de análisis se tienen los procesos continuos de Markov, los de redes y sus aproximaciones.

1. Método de Monte Carlo.

   El método de Monte Carlo consiste en la simulación de un número considerable de situaciones, generadas en forma aleatoria, donde los valores de los índices de confiabilidad corresponden a los valores de los momentos de las distribuciones de probabilidad.

   Reconoce la naturaleza aleatoria de la carga y de la salida de generadores y líneas en el sistema. De este método existen dos versiones:

   a. Método de Monte Carlo secuencial: simula cronológicamente cada hora del año y el estado actual depende de los estados anteriores. (Sistema con memoria).
   b. Método de Monte Carlo no secuencial: simula aleatoriamente todas las horas del año y el estado actual no depende del anterior. (Sistema sin memoria).

   El método de Monte Carlo se utiliza para sistemas en que las fallas dominantes son las de generación. La ventaja principal de este método es la facilidad que ofrece de poder tener en cuenta cualquier variable aleatoria y cualquier contingencia y la posibilidad de adoptar políticas de operación similares a las reales. Sin embargo, por ser un método estocástico hay preferencia por los métodos de análisis, dado que es mucho más fácil su manejo.

2. Método de Markov.

   La mayoría de los métodos analíticos están basados en los procesos continuos de Markov.

   En una red eléctrica, ya sea un sistema de distribución o de transmisión, se considera como un sistema reparable, como aquel que al fallar un elemento, éste es reemplazado o reparado, dependiendo de la naturaleza del elemento en cuestión. De esta manera se restablece la condición de operación normal del sistema, o parte de la red afectada. Así entonces, el sistema es continuo en el tiempo, con estados discretos finitos, ajustándose

muy bien a una representación por medio de procesos continuos de Markov.

Es necesario notar que el método de Markov permite obtener, con una excelente precisión, la probabilidad de que el sistema resida en cualquiera de sus estados posibles, no la probabilidad de falla en un punto del sistema (que es lo que se desea).

A pesar de esta buena característica, resulta un método poco atractivo, debido a que la cantidad de estados posibles en un sistema crece dramáticamente a medida que aumenta el número de elementos que lo componen. Si la modelación de componentes considera sólo dos estados para cada uno de ellos (falla y operación), el diagrama de espacio de estados contiene 2^n estados posibles. Es decir, un sistema modelado con 20 elementos tiene 1,048,576 estados, de manera que la dificultad de análisis es obvia. Por otro lado, modelos que tratan de reflejar con mayor fidelidad el comportamiento y operación real de los distintos elementos de un sistema eléctrico consideran más de dos estados, aumentando aún más la cantidad de estados posibles del sistema.

3. Técnica de frecuencia y duración.

Como ya se mencionó, la idea central de la evaluación de confiabilidad en una red eléctrica es disponer de información cuantitativa, que de alguna manera refleje el comportamiento y calidad de servicio que entrega.

La técnica de Markov es perfectamente adecuada para determinar la probabilidad de estado y disponibilidad, sin embargo, otros parámetros de confiabilidad, tales como la frecuencia de encontrarse en un estado determinado y la duración promedio de residencia en dicho estado entregan mucha más información que una simple probabilidad. Puestos en el caso de un consumidor que desea conectarse a un nudo de la red de la empresa eléctrica, lo más probable es que esté interesado en conocer la cantidad de veces que quedará sin suministro de energía eléctrica y cuanto pueden durar estas fallas de servicio.

La probabilidad de que un elemento este en operación esta dada por:

$P(op)= m/(m+r)$

donde, $m = 1/\tau$ que es el tiempo promedio de operación y $r=1/\mu$ que es el tiempo promedio de reparación.

Como la frecuencia de un ciclo es 1/T (periodo), y T=m+r, se tiene que P(op)= f/r ; es decir que la frecuencia de encuentro en un estado determinado está dada por la probabilidad de encontrarse en el estado, por la tasa de partida desde dicho estado. La aplicación de esta técnica para sistemas de cualquier tamaño puede resumirse en lo siguiente:

1) Evaluar las probabilidades límites de estado,
2) Evaluar la frecuencia de encuentro en un estado,
3) Evaluar la duración media de cada estado.

La duración media de residencia en cada estado de los estados acumulados, se obtiene mediante la expresión:

m = prob. Acumulada para el estado i / frec. C de encuentro en el estado i.

Cabe mencionar que esta técnica de frecuencia y duración también se ha aplicado en el área de sistemas de generación.

4. Método de cortes mínimos.

En la evaluación de confiabilidad de las redes de distribución, uno de los problemas a resolver es la determinación de los eventos de falla (cortes mínimos) que aíslan los puntos de carga de las subestaciones de distribución.

Utilizando como criterio de éxito la continuidad de servicio para los puntos de interés, se dice que un sistema está conectado si existe un camino entre la fuente y cada uno de los elementos que componen dicho sistema. La salida de los elementos que pertenecen al conjunto de corte mínimo produce la separación del sistema en dos subsistemas conectados, uno que contiene las entradas (fuentes) y otro que contiene el punto de estudio (normalmente este punto corresponde a un nudo de carga).

El método de los conjuntos de corte, en esencia, hace una representación serie-paralelo de la red bajo estudio, el que puede tener cualquier configuración. Un conjunto de corte es un grupo de elementos que al ser retirados del sistema (red eléctrica) produce su partición. Se dice que un corte es mínimo cuando no tiene un subconjunto que pueda producir el mismo efecto sobre el sistema.

El método de los conjuntos de corte es una aproximación generalmente válida, atendiendo a la alta disponibilidad normalmente asociada a los componentes de un sistema eléctrico de potencia. Si fallan todos los

elementos de un conjunto o grupo de corte, el sistema fallará, sin importar el estado del resto de elementos del sistema. Un sistema puede tener un gran número de conjuntos de corte y un componente en particular pertenecer a más de uno de ellos.

En el grupo de corte, los elementos deben conectarse en paralelo, ya que la falla se produce cuando todos esos elementos salen de red. Los cortes a su vez, deben conectarse en serie, ya que la ocurrencia de cualquiera de ellos asegura la desconexión del sistema.

5. Modos de falla y análisis de efectos.

   Una técnica también empleada consiste en la determinación de los modos comunes de falla y análisis de efectos, en donde se pretende reflejar con mayor realismo el comportamiento de un sistema eléctrico. Su implementación va acompañada de la determinación de conjuntos de corte mínimos. Esta técnica es particularmente adecuada para modelar fallas que involucran la acción de los dispositivos de protección.

   También es posible considerar sobrecargas y violación de límites de voltaje, al simular contingencias que no forman conjuntos de corte, es decir, la salida de una línea o alimentador parcialmente redundante, que no necesariamente produce la desconexión de alguna porción del sistema, pero que podría sobrecargar algún elemento. De esta manera, aparte de los estados determinados por los conjuntos de corte, se agregan como fallas aquellos que producen sobrecargas, si dicha condición permanece algún tiempo superior a los ajustes de los dispositivos de protección.

Existen también técnicas de localización óptima de recursos en redes de distribución, las que buscan aumentar la probabilidad de contar con energía eléctrica, en un punto de carga cualquiera de un sistema de distribución, mediante la determinación de nuevas inversiones.

La aplicabilidad de estas técnicas se restringe a sistemas de topología operativa radial.

1.1.1 Algoritmos

Aunque los estudios de confiabilidad se enfocan a grupos de objetos es posible en principio escalonar su aplicación y esto permite establecer metodologías con objetivos adaptables al contexto, y por ejemplo para la distribución en diferentes niveles [1], y con los análisis de flujo correspondientes pueden establecerse diseños y metodologías susceptibles de informatizarse, y se ilustra abajo para el caso de focalización sobre pérdidas.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS

En la Figura se muestra el diagrama de flujo del cálculo del índice.

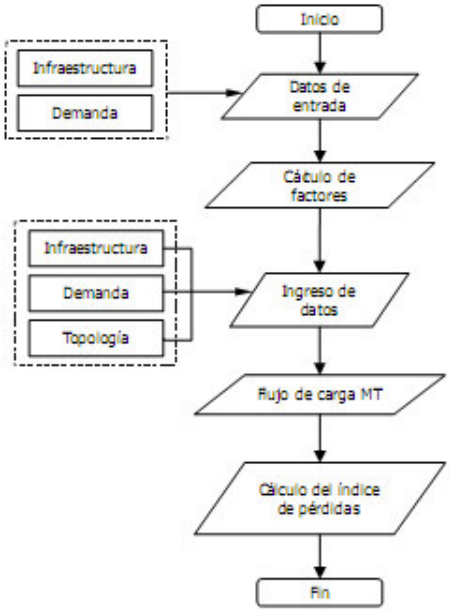


Figura 1.1 Diagrama de flujo para el cálculo de pérdidas en redes de MT

Para el cálculo de las pérdidas en este nivel de tensión se realizan las corridas de los flujos de carga de todos los circuitos separando urbanos y rurales, con el fin de determinar el índice de pérdidas en cada una de las zonas.

Como resultado del flujo de potencia se obtiene la energía de pérdidas del sistema con la cual se calcula el índice de pérdidas del sistema.

1.1.2 Consideraciones

CONSIDERACIONES BÁSICAS

La teoría de la confiabilidad se basa en evaluar los indicadores de tasa de falla, tiempo entre fallas y la duración de las fallas en cualquier sistema que este sujeto a fallar]. La Figura 1 muestra, de forma esquemática, la forma de obtener el tiempo entre fallas. Esta teoría se basa, en forma general, en determinar la confiabilidad de un sistema en función de la ocurrencia de las fallas. Para el caso de sistemas de distribución se consideran que estas fallas provocan una suspensión o interrupción del servicio.

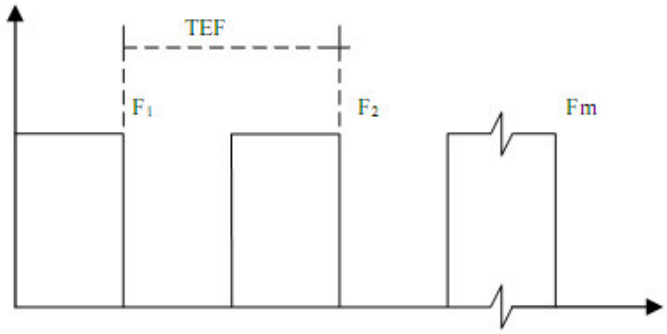


Figura 1. Tiempo Entre Fallas (TEF)

El TMEF representa el intervalo de tiempo más probable entre la ocurrencia de una falla y la falla siguiente en el circuito y en los elementos del circuito, como se muestra en la ecuación (1).

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^{m} TEFi}{m} \quad (1)$$

En la década de los 90, empresas eléctricas y organizaciones internacionales ligadas a los procesos de normalización oficializaron los índices de confiabilidad para los sistemas de distribución de electricidad. Estos índices se determinan en función del número de clientes del sistema de distribución para un período de un año. La norma IEEE 1366 – 2003 [3] es una guía para determinar estos índices. Entre los índices que consideran la valoración en función del número de clientes afectados se encuentran:

☑ El SAIFI es un índice que establece la frecuencia promedio de interrupciones sostenidas del sistema al año.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{m} N_i}{N_T} \quad (2)$$

☑ El SAIDI es el índice que establece al tiempo, en minutos u horas, que los clientes son interrumpidos.

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{m} r_i N_i}{N_T} \quad (3)$$

☑ El CAIDI representa el índice de duración promedio de las interrupciones a los clientes.

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{m} r_i N_i}{\sum_{i=1}^{m} N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (4)$$

☑ El MAIFI especifica el índice de la frecuencia promedio de interrupción momentánea.

$$MAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{m} ID_i N_i}{N_T} \quad (5)$$

☑ La ENS especifica la energía no suministrada en el año para la totalidad de los clientes.

$$ENS \equiv \sum_{i=1}^{m} ENS_i \quad (6)$$

☑ La AENS especifica la energía no suministrada en el año para la totalidad de los clientes.

$$AENS \equiv \frac{\sum_{i=1}^{m} ENS_i}{N_T} \quad (7)$$

ÍNDICES DE CONFIABILIDAD EN CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN

Los índices que se consideran son: el tiempo medio entre fallas y los establecidos por las normas IEEE 1366 (SAIFI, SAIDI, CAIDI y MAIFI).

Los índices de confiabilidad recomendados en las normas consideran aspectos como: la duración y frecuencia de las interrupciones temporales, número de interrupciones momentáneas, la cantidad de potencia interrumpida y de la energía no suministrada y el número de clientes afectados. El número de clientes afectados puede ser estimado en función de la porción del sistema que queda sin servicio al ocurrir la interrupción o con técnicas basadas en herramientas estadísticas como la Simulación de Montecarlo. La Tabla 1 muestra los índices de confiabilidad establecidos para los sistemas de distribución, establecidos con base a las recomendaciones establecidas en las NCSDE y la IEEE 1366-2003 [3].

Tabla 1. Índices de confiabilidad

Indice de Confiabilidad	Definición	Abreviatura
Índices primarios	Número medio de fallas	Λ
	Tiempo medio entre fallas	TMS
	Tiempo medio de salida anual	TMSA
	Tiempo medio entre fallas	TMEF
Índices basados en la potencia interrumpida	Frecuencia media de la interrupciones	FMIK
	Tiempo total de las interrupciones	TTIK
Índices basados en los clientes	Frecuencia media de interrupciones en el sistema	FMIS
	Frecuencia media de interrupciones la cliente	FMIK
	Duración media de interrupción del cliente	TTIK
	Frecuencia media de interrupción al cliente	CAIFI
	Duración promedio de interrupción al sistema	SAIDI
	Duración media de interrupción al cliente	CAIDI
	Disponibilidad media del servicio	ASAI
	Indisponibilidad media del servicio	ASUI
	Tiempo promedio de restauración del servicio	ATPII
	Minutos del consumidor por interrupción	CMPII
Índices basados en la carga interrumpida	Duración media de interrupción del sistema	ASIDI
	Frecuencia media de interrupción del sistema	ASIFI
	Duración media de interrupción del circuito	ACIDI
	Frecuencia promedio de interrupción del Circuito	ACIFI
Índices basado en la energía no suministrada	Energía no suministrada	ENS
	Energía media no suministrada	AENS
	Corte promedio al cliente	ACCI
Índices en función de las interrupciones momentáneas	Frecuencia media de interrupción momentánea	MAIFI

Prueba de Absorción del dieléctrico (Índice de polarización).

La prueba de absorción del dieléctrico implica la determinación de la resistencia del aislamiento como una función del tiempo, generalmente 10 minutos. Para hacer esta prueba, se necesita un megohmetro accionado por un motor o uno estático. Esta prueba es mas significativa que la prueba de aislamiento de un minuto, porque el gradiente de tiempo de la característica de resistencia ofrece una información adicional concerniente a la condición relativa del aislamiento con respecto a la humedad y otros contaminantes. Esto es particularmente útil para las pruebas de diagnostico cuando no están disponibles registros previos de la resistencia del aislamiento. Sin embargo debido a que la temperatura esta unos cuantos grados por encima del punto de condensación para prevenir la condensación de la humedad en el aislamiento, es generalmente mejor realizar la prueba después de la desconexión.

Absorción del dieléctrico.

Por definición, un dieléctrico es un medio donde es posible producir y mantener un campo eléctrico con un pequeño o sin suministro de energía desde fuentes externas. La energía requerida para producir el campo eléctrico es recuperable, en una parte o completa, cuando el campo es eliminado. Un alto vacío perfecto es el único dieléctrico perfecto conocido.

Un dieléctrico imperfecto es un medio en el que la energía requerida para producir el campo eléctrico no retorna atrás hacia el sistema. La energía que no retorna se manifiesta en forma de calor. Es por eso que mientras mas energía devuelva, mejor se considera es aislante o el dieléctrico.

Absorción del dieléctrico es un fenómeno que ocurre en los dieléctricos imperfectos por medio de cual las cargas positivas y negativas son separadas y después acumuladas en cierta región dentro del volumen del dieléctrico. Diferencias en la resistividad del dieléctrico o impurezas tendrá un efecto significativo, incrementando las perdidas. Perdidas de absorción del dieléctrico son aquellas que se asocian con la incapacidad del medio de retornar la energía requerida para formar el campo eléctrico hacia el sistema y la medida de que la perdida de energía es transformada en calor. Cuando la prueba de aislamiento de DC es aplicada por vez primera como una prueba de muestra, la

resistencia inicial es pequeña y gradualmente crece con el prolongamiento de la prueba. Esto requiere energía para establecer el campo electrostático en el aislamiento. Sin embargo, cuando el campo ha sido establecido completamente, la corriente de carga cae hasta un valor que es función de las fugas continuas a través del aislamiento. La energía requerida para cargar un aislamiento es conocido como las perdidas de absorción dieléctrica. Esta absorción dieléctrica o perdidas de carga son difíciles de monitorear ya que cuando la muestra ha sido "cargada" la única característica que manifiesta por si mismo la conductividad y las fugas superficiales del medio. La prueba de corriente directa es preferida cuando la capacitancia del equipamiento que va ha ser sometido a pruebas es tan alta que seria necesario un alternador de corriente demasiado grande. La elevada capacitancia del equipamiento provocaría el uso de generadores grandes, gran cantidad de cables, grandes motores, etc. Con una unidad de Dc, la corriente total esta compuesta por tres corrientes.

Corrientes de fuga, que es medida durante la evolución de la prueba y que es un factor significativo. Alcanza rápidamente un valor constante y después no cambia. Esta es la corriente que queremos medir.

Corriente capacitiva, que es provocada por la carga de la capacitancia de la unidad bajo pruebas. Esta corriente decrece hasta casi cero en un periodo corto de tiempo.

Corriente de Absorción es la corriente que es absorbida por el aislamiento cuando ocurren ciertos cambios en la estructura molecular del material. Esta corriente perdura por una cantidad variable de tiempo.

Puesto que valores aceptables de corriente de fugas pueden variar ampliamente de un equipo a otro, el valor absoluto no es tan importante como el valor relativo (el valor comparado en otras pruebas al mismo equipo en otras ocasiones.

Cuando usamos DC y comparamos dos valores de dos tiempos diferentes, obtenemos una indicación de las perdidas de absorción dieléctricas. Esto es conocido como índice de polarización. Esto es importante para notar que estas pérdidas de absorción dieléctricas relacionadas con la ¨carga¨ de la muestra pueden estar en el orden de 100 veces las pérdidas de fugas continuas o conductividad a través del aislamiento.

Básicamente en las pruebas de DC, las perdidas de absorción del dieléctrico se ponen de manifiesto como la velocidad de fuga son un fenómeno de estado continuo remanente si alguna vez una prueba de estado continuo se ha realizado. Por razones obvias, estos dos tipos de fugas tienen dificultades para ser diferenciadas.

Cuando un voltaje/corriente de AC es aplicado al aislamiento, el efecto de la absorción dieléctrica es separado de las fugas o conductividad. El campo dieléctrico nunca llaga a ser establecido totalmente con una polaridad antes que la corriente alterna de cargas se invierta y comience a aumentar en la polaridad opuesta.

Índice de polarización

El gradiente es expresado como la relación de 10 a 1 minuto de las lecturas del aislamiento y es llamado índice de polarización. La fig 59 muestra este índice para tres maquinas. La resistencia de aislamiento después de 10 minutos dividida por la resistencia del aislamiento después de 1 minuto.

Un índice de polarización menor que 1 indica la existencia de fugas excesivas. La causa debe ser investigada y corregidas antes de retornar la maquina al servicio .Un índice de 2 o 3 es satisfactorio.

El índice de polarización facilita una evaluación cuantitativa del estado del aislamiento con respecto a la humedad y a los contaminantes.

Como regla general, una maquina puede ser reintegrada al servicio si el índice de polarización es mayor que 1 y la resistencia del aislamiento esta por encima del mínimo requerido.

Cuando la prueba de aislamiento de DC es aplicada por vez primera como una prueba de muestra, la resistencia inicial es pequeña y gradualmente crece con el prolongamiento de la prueba. Esto requiere energía para establecer el campo electrostático en el aislamiento. Sin embargo, cuando ha sido establecido completamente, la corriente de carga cae hasta un valor que es función de las fugas continuas a través del aislamiento. La energía requerida para “cargar” un aislamiento es conocido como las perdidas de absorción dieléctrica. Esta absorción dieléctrica o pérdida de carga son difíciles de monitorear ya que cuando la muestra ha sido “cargada” la única característica que manifiesta por si mismo la conductividad y las fugas superficiales del medio. La prueba de corriente directa es preferida cuando la capacitancia del

equipamiento provocaría el uso de generadores grandes, gran cantidad de cables, grandes motores, etc. Con una unidad de DC, la corriente total esta compuesta por tres corrientes.

Categorías de prueba de alto voltaje.

Existen seis amplias categorías de pruebas de alto potencial:

Pruebas de diseño:

Estas son pruebas realizadas usualmente en un laboratorio para determinar los niveles adecuados de aislamiento previos a la fabricación.

Prueba de fábrica:

Estas son las pruebas realizadas por el fabricante para determinar la conformidad con el diseño o requerimientos de producción.

Al equipamiento eléctrico se le realiza la prueba de aterramiento a un voltaje igual al doble de voltaje nominal más 1000V durante un minuto a 60 HZ.

Prueba de Fabrica = 2E + 1000 @ 60 Hz durante un minuto.

Prueba de recepción:

Estas son las pruebas realizadas inmediatamente después de la instalación, pero previo a poner el equipamiento o los cables en servicio. La primera consideración en la prueba de recepción es determinar si el aislamiento puede aguantar el voltaje máximo. El valor de la prueba de recepción es usualmente el 80 % de la prueba de fábrica.

Prueba de recepción = 80 % (2E + 1000)

Prueba de comprobación (Proof Test):

Estas son pruebas realizadas seguidamente de que el equipamiento ha sido puesto en servicio y durante el periodo de garantía. La primera consideración de la prueba de comprobación es la misma que la de la prueba de recepción.

Proof Test = 60 – 80%

Pruebas de Mantenimiento:

Estas pruebas son realizadas durante las operaciones normales de mantenimiento o antes de la reparación del equipamiento o de los cables. En

las pruebas de mantenimiento, es más importante que los puntos potenciales débiles sean hallados sin que causen la falla. Es muy importante que las pruebas se realicen al menos con el voltaje de operación normal para asegurar una seguridad relativa de operación continua. El voltaje máximo usado en las pruebas de mantenimiento depende de los años, la historia previa y las condiciones del equipamiento. Un valor aceptable seria aproximadamente de 50 a 60 % del voltaje de prueba de fábrica.

Prueba de mantenimiento = 50 – 60 % (2E + 1000)

Localización de fallas:

Las pruebas de localización de fallas se realizan para determinar la localización de una falla específica en un cable. La localización de fallas en el cable requiere una técnica específica, y será tratada mas adelante.

Ventajas de las pruebas de CA de alto Voltaje

La corriente alterna es preferida por las pruebas de fábrica por los productores debido a su larga historia de resultados de pruebas de varios tipos de equipos. La AC es usada para las pruebas de corona, donde cada alternación del voltaje causa una repetición de la explosión de la corona, donde los equipos de pruebas han alcanzado altos niveles y donde la corriente en cuadratura es relativamente insignificante. La corriente alterna Acentúa una combinación de la estructura del aislamiento en proporción con las constantes dieléctricas de los materiales, mas bien en proporción con la resistencia de fuga. Cuando la vibración mecánica o el stress producido por la corriente alterna son deseados, se necesita una prueba de corriente alterna. Cuando las especificaciones lo requieren se realiza una prueba de corriente alterna.

La prueba de corriente alterna de alto voltaje es antes todo una prueba de todo o nada. El voltaje es elevado hasta un nivel específico, y si el equipo se avería o muestra signos excesivos de fuga de corriente el objeto bajo prueba ha fallado. Si el desconectivo del circuito no opera o si el indicador de fugas no se ilumina, el objeto ha pasado la prueba. Cuan cerca llegó el equipo a las condiciones de falla o con que margen pasó la prueba no es conocido>la prueba solo indica bien o mal.

Ventajas de las pruebas de DC de alto voltaje

Una prueba de DC puede hacer más que una indicación de si es aislamiento es buena o mala. Puede indicar si todo esta bien por ahora, pero se espera una falla pronto. Cuanto indica depende del modo en que haya hecho la prueba, del equipo usado y de la experiencia del operador. Unas pruebas realizadas correctamente indicaran fallas tales como grietas, discontinuidades, manchas o vacíos en el aislamiento, humedad excesiva o polvo, empalmes deficientes, copas deficientes, etc. Un operador de experiencia no puede solo frecuentemente predecir la falla del equipo bajo prueba, pero puede hacer un estimado bueno de la vida futura de operación.

El uso de DC tiene varias ventajas sobre el uso de AC. El equipo de prueba es mucho más pequeño, ligero y barato. Usado e interpretado correctamente una prueba con DC dará mucha mas información que la obtenida con pruebas de AC. Hay menos posibilidad de dañar el equipo y menos ambigüedad en la interpretación de los resultados. La gran capacidad de corriente asociada con las pruebas de CA no está presente para cubrir la verdadera fuga de corriente, ni es necesaria realmente sacar de servicio al material al que se le realiza la prueba para obtener información relativa a su situación.

El voltaje de DC es aplicado en pasos, las fallas pueden preverse antes que ocurran y antes de parar la prueba. La prueba de alto voltaje de DC monitorea tanto el voltaje aplicado como la corriente de fuga, por lo tanto la resistencia del aislamiento puede ser calculada.

Valor del voltaje de DC a ser aplicado.

La aplicación de una sobretensión al equipamiento eléctrico no es una prueba de mantenimiento de rutina. Esta debe ser usada en aparatos que han sido separados o rebobinados. Una prueba de sobrecorriente no debe ser hecha en un devanado que tenga unas lecturas bajas en el megger.

La sobretension de DC aplicada debe ser lo suficientemente alta para localizar cualquier vulnerabilidad que pueda llevar a una falla, pero debe ser menor que el valor de prueba de fábrica. El envejecimiento térmico reduce la rigidez dieléctrica del aislamiento. Además el valor del voltaje de la prueba de fábrica es el valor RMS. La diferencia entre el valor RMS y el valor pico debe ser considerada. El valor de sobrecorriente de DC puede ser aplicado a un equipo que ha estado en servicio es:

DC equipo medición = 0.6 x prueba de fábrica x 1.6 (equipamiento)

El factor 0.6 reduce el equipamiento debido al envejecimiento térmico. El valor 1.6 es la relación entre las pruebas de AC y DC.

Tabla Valores de prueba de alto voltaje de DC.

	Equipamiento	Cables
Prueba de admisión	0.8 x (2E + 1000) x 1.6	0.8 x (3E + 1000) x 1.5
Proof. Test	[0.6 – 0.8] x (2E + 1000) x 1.6	[0.6 – 0.8] x (3E + 1000) x 1.5
Prueba de mantenimiento	[0.5 – 0.6] x (2E + 1000) x 1.6	[0.5 – 0.6] x (3E + 1000) x 1.5

Técnicas de pruebas de alto voltaje de DC

Prueba de ir, no ir

Este el tipo de prueba que se usa usualmente como prueba de recepción. Esta prueba no es un análisis minucioso de la condición de cables, sin embargo, es suficiente para confirmar que el cable no fallara bajo una prueba a un nivel de voltaje requerido.

Procedimiento de la prueba:

Se fija el rango del amperímetro en el rango más alto en el equipo de medición. Gradualmente eleve el voltaje de prueba hasta un nivel, en el cual se mantenga la corriente de carga debajo del punto de máximo de escala. El voltaje es elevado a niveles prudentes hasta que el valor requerido de prueba es alcanzado.

Se mantiene el voltaje en este valor por el periodo de tiempo requerido en las especificaciones, o en ausencia de especificaciones, hasta que la corriente, este estabilizada por un minuto o mas.

Si la corriente de fuga no llega a ser excesiva, el equipamiento ha pasado la prueba.

La falla es indicada por el aumento gradual o abrupto de la corriente, suficiente para hacer funcionar el interruptor del circuito.

Al final de la prueba se baja el nivel de voltaje a cero y permita al material descargarse a través del circuito de descarga del equipo de prueba. Un método alternativo de descarga es mediante el uso de una barra en “caliente” y guantes de caucho y aterrar la salida.

Precaución:
El kilo voltímetro en el equipo de medición dará una indicación directa del voltaje en la salida. El cable o equipo que esta sometido a prueba no debe ser tocado hasta que el kilo voltímetro indique cero.

Después que el kilovoltímetro lea cero, los terminales de prueba pueden ser desconectados, después el equipo bajo prueba debe ser aterrado inmediatamente y permanecer a terrado durante un periodo de al menos del doble del tiempo del que estuvo sometido a prueba.

1. Corriente de fuga contra voltaje

Método A:

El voltaje inicial aplicado es 1/3 del voltaje final de prueba. La corriente de fuga es leída después que la componente de corriente de carga haya llegado a cero. El voltaje se incrementa en 5 ó 10 pasos uniformes. Las lecturas de la corriente de fuga son ploteadas al final de cada paso. Para un devanado en buenas condiciones, el ploteo de la corriente de fuga contra el voltaje aplicado producirá una curva suave (incrementos iguales de voltaje provocan incrementos iguales de corriente). Si la corriente de fuga muestra desviaciones radicales, esto puede ser visto una advertencia de una posible falla si el voltaje incrementado mas allá. La prueba debe detenerse y las causas investigadas.

Método B:

El voltaje es elevado lentamente desde cero en escalones discretos dejando suficiente tiempo o cada escalón para que se estabilice la corriente de fuga. Usualmente 1 minuto es suficiente para el equipamiento semejante a una barra de trabajo. En equipamientos con alta capacitancia, el tiempo para la estabilización de la corriente de fuga puede ser desde varios minutos hasta varias horas. Para minimizar el tiempo de prueba, es una práctica común

cronometrar el decaimiento de la corriente y tomar lecturas en cada escalón de voltaje después de un intervalo de tiempo fijado.

2. Corriente de fuga contra tiempo.

Esta prueba es generalmente desarrollada después que ha sido realizada la prueba de corriente de fuga vs voltaje. Cuando la prueba final de voltaje es cumplida en una prueba corriente vs voltaje, en la curva de corriente contra tiempo se plotea la corriente a intervalos de tiempo fijados así como su decaimiento desde el valor de la corriente inicial de carga hasta el valor estable de condición de fuga. La curva para un cable bueno debe indicar un decrecimiento continuo en corriente de fuga con el tiempo o una estabilización de la corriente sin ningún incremento durante la prueba.

Un incremento de la corriente durante la prueba indicaría un cable o maquina malo. La prueba debe ser detenida inmediatamente e investigadas las causas.

Desconecte el alto voltaje después que la corriente se ha estabilizado y ha sido tomada la última lectura. El kilo voltímetro en el equipo de medición indicara el voltaje presente en el equipo bajo prueba ya que el circuito interno del equipo de medición permite la descarga gradualmente. Después que el voltaje alcance el cero, ponga una tierra externa en el cable o maquina y desconéctelo del equipo de medición.

Precaución:
Es importante ponerse guantes de caucho en este punto, debido al efecto de la corriente de absorción pueden causar una elevación del voltaje en el objeto bajo falla hasta después que ha sido aterrado por un periodo de tiempo igual al doble del periodo de prueba.

La prueba de corriente vs tiempo es frecuentemente realizada inmediatamente que la prueba de corriente vs voltaje y Será registrado y entrega sus mejores resultados cuando se realiza de esta manera.

La duración de aplicación de la **prueba de Potencial** debe ser **1 minuto** en concordancia con C = 57.12

Nota:
Durante cualquier prueba, la temperatura debe ser registrada.

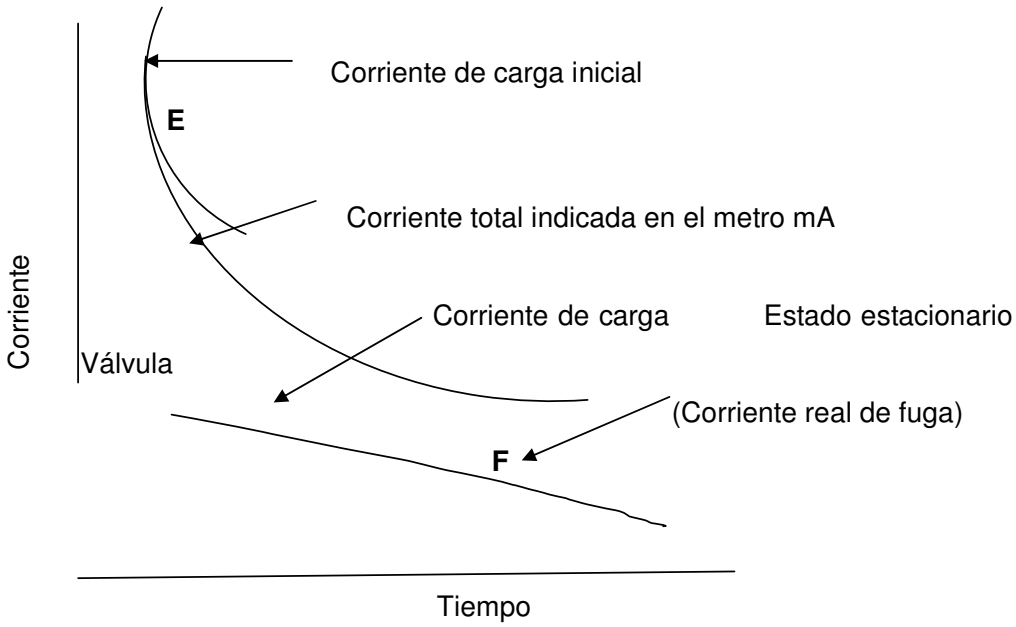


Figura : Corriente de fuga estabilizada.

Las pruebas (tipo Hypot) de DC son realizadas ante todo para determinar la condición del aislamiento. El valor del voltaje final de falla puede ser o no de interés, pero la condición relativa del aislamiento, en las cercanías o un poco por encima del voltaje de operación, es absolutamente necesario.

A pesar que hay muchas formas de conseguir estos resultados, dos de los métodos mas populares son descritos.

El primero es conocido comúnmente como “Corriente de fuga vs Prueba de voltaje”.

El segundo es la “Corriente vs Tiempo de Prueba”.

Antes de realizar la prueba, todos los accesorios, transformadores de potencia, etc, son desconectados del equipo al que se le realiza la prueba.

El campo, la armadura y las fases en desuso son aterrados y el lado caliente del equipo de medición es conectado al conductor bajo prueba.

Realización de la prueba:

1. El voltaje es rápidamente elevado en escalones discontinuos permitiendo el tiempo suficiente a cada escalón para que se estabilicen las corrientes de fuga. Debe ser notado que mientras el voltaje crece, la corriente de fuga

debe ser primero relativamente alta, después decrecerá con el tiempo hasta que un valor mínimo constante es alcanzado.

2. el alto valor inicial de la corriente es conocido como corriente de carga y depende primeramente de la capacitancia del objeto bajo carga. El estado mas bajo de corriente constante consiste de la corriente real de fuga y de la corriente de absorción dieléctrica (la cual es relativamente menor tantas veces como se repite esta prueba).
3. El valor de al corriente de fuga es anotada en cada escalón de voltaje, como el voltaje es elevado es ploteada la curva “Corriente de fuga vs Voltaje”. Tan largo como sea esta curva plana (incrementos iguales de corriente), es considerado que el objeto bajo prueba esta en buenas condiciones.
4. En un cierto punto la corriente de fuga empezará a crecer de una. Esto mostrara algo como una rodilla en la curva. Es muy importante que el incremento del voltaje sea suficientemente pequeño para que el punto inicial de esta rodilla sea notado. Si la prueba se comienza más allá del inicio de la rodilla, la corriente aumentara de una manera mucho más rápida y la falla ocurrida rápidamente. A menos que la falla sea realmente deseada, es una practica usual parar una prueba tan pronto como el comienzo de la rodilla sea notada.
5. Con una pequeña experiencia, el operador puede extrapolar la curva estimando el punto de ruptura del voltaje. Este procedimiento le permite al operador anticipar el voltaje de ruptura sin daños reales al aislamiento para que la prueba se para en el inicio de la rodilla, no hayan daños.
6. Mientras que es muy importante mirar la velocidad de cambio de la corriente con la elevación del voltaje, mucha información puede ser obtenida del valor de la corriente. Una comparación del valor de corriente de fuga obtenido con los de un equipo similar, o comparando los valores de corriente del mismo equipamiento obtenidos en ocasiones anteriores, le dará una indicación del estado del aislamiento. En general una corriente mayor de fuga es una indicación de un aislamiento mas pobre.
7. En cables muy largos o transformadores que tienen una alta capacitancia entre sus devanados y entre ellos y el núcleo, el tiempo de estabilización de la corriente de fuga (decrece) puede ser tan alto como varios minutos bajo estas condiciones. Es una práctica común medir el tiempo de demora de la

corriente y tomar una lectura de cada paso de voltaje luego de cada intervalo fijo. Por ejemplo, el voltaje puede llevarse hasta el primer paso, permitiéndolo que este así 4 minutos y entonces tomar la lectura de la corriente. Entonces el voltaje se eleva hasta el segundo paso, se espera los mismo 4 minutos y se toma la lectura de corriente, y así sucesivamente durante toda la prueba. Aunque este método no brinda la verdadera corriente de fuga en ningún punto, si nos brinda la curva con la forma correcta que nos permite determinarla.

8. Cuando se alcanza la prueba de voltaje final, el equipo de medición se deja encendido y se plotea la curva de corriente contra tiempo, registrando la corriente durante intervalos fijos de tal forma que decaiga desde el valor inicial alto de carga hasta el valor estable de fuga.
9. Esta curva para un equipo en buenas condiciones deberá indicar un decrecimiento continuo de la corriente de fuga en el tiempo o una estabilización de la corriente sin ningún incremento durante la prueba. Cualquier incremento de la corriente sin ningún incremento seria una indicación de equipo defectuoso. La prueba deberá, por supuesto, detenerse después automáticamente si esta condición se produce.

- Después que se ha estabilizado la corriente y se haya tomado la ultima lectura, desconecte el alto voltaje.
- Después que el voltaje disminuya hasta cero, cloque una tierra externa en el equipo y desconéctelo del equipo de medición.

Nota:
Es importante usar guantes de goma en este punto, debido al efecto de que las corrientes de absorción pueden causar altos voltajes en el elemento bajo prueba, hasta que este haya sido aterrado por un cierto periodo de tiempo.

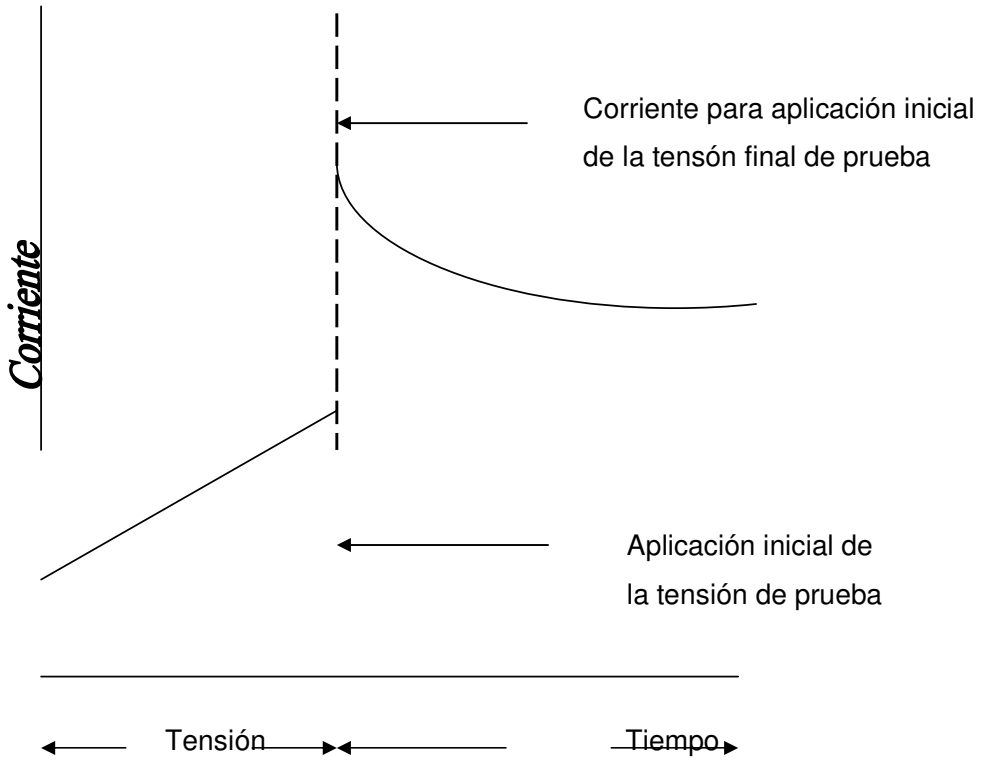


Fig. : Corriente contra voltaje y tiempo.

Circuitos Selectivos de Seguridad

1. Cuando realizamos la prueba de corriente contra voltaje, puede ocurrir un rápido incremento de corriente no debido a efectos en el equipo sino debido a la fuga de superficie o de corona en las conexiones, terminaciones de corrientes de cables, cuchillas o interruptores, etc. El equipo de medición de CD incorpora un circuito interno (circuito selectivo de seguridad) para bypasear estas corrientes de tal forma que no interfieran con las mediciones de fuga.

   Con la utilización adecuada del circuito de seguridad y el aro protector cuando se necesite, podrán obtener muy buenas mediciones de corriente de fuga, aún por debajo de 1μA. Esto se logra brindando caminos separados para las corrientes extraviadas, es decir, bypaseándolas del circuito de medición. Con vistas a alcanzar esto, el equipo de medición de CD se precisa tenga dos vías de remoto:

a) El terminal de retorno medido que brinda un camino a través del circuito del micro amperímetro.
b) El terminal de retorno Baypaseado, que brinda un camino que bypasea al elemento de medida.
c) Un interruptor de panel para conectar internamente la tierra el chasis del equipo a cualquiera de estos dos terminales mencionados.

Corrección por temperatura de la resistencia del aislamiento

La resistencia del material aislante disminuye con el incremento de la temperatura.

Cuando comparamos las lecturas tomadas de una maquina durante un periodo de tiempo, las lecturas deben ser tomadas a una misma temperatura, por ejemplo, justo después de la salida de servicio. Para una comparación mas confiable de la temperatura del aparato debe ser registrada cuando medimos la resistencia del aislamiento de la maquina. La lectura debe ser corregida a una temperatura base de 40 ºC (20ºC) puede ser también utilizados.

Tabla : Factores de corrección de la resistencia del aislamiento con 40 ºC como base.

Temperatura Grados Celsius	Factor de Corrección	Temperatura Grados Celsius	Factor de corrección
0 ºC	0.06	30 ºC	0.5
5 ºC	0.09	40 ºC	1.0
10 ºC	0.13	50 ºC	2.0
15 ºC	0.18	60 ºC	4.0
20 ºC	0.25	70 ºC	8.0

¿Qué voltaje del mego metro usar?

El voltaje correcto del megger a usar depende del nivel de voltaje del equipamiento. Los megger usados comúnmente usan los voltajes indicados en la tabla.

Tabla; Voltajes de los megger para varios equipos de diferentes niveles de voltaje.

Voltajes equipos de AC	**Voltaje DC Megger**
115V	100-250
440V-550V	500-1000
2400V	1000-2500
4160V y mayores	1000-5000

1.3 Estudios de confiabilidad en la red eléctrica de la ECG

La red eléctrica de media tensión de la empresa puede ser valorada según los registros en uso o reportados y los procedimientos de generación de reportes, que se han ido adecuando con el tiempo a las técnicas y requerimientos, aunque no cumple con las posibilidades de automatización o disponibilidad para realizar estudios de fallas y por tanto de confiabilidad.

Los factores que propician la inexistencia de estudios de confiabilidad están asociados a los programas de inversiones, la recurrencia de fallas típicas que implican tomar medidas operativas y la existencia de factores de agresividad medioambiental. Sin embargo, se aplican procedimientos que viabilizarían formulaciones de estudios de confiabilidad, y permitirían la localización, focalización y adopción de métodos o técnicas que sirvan de basamentos para la aplicación y extensión de estudios, entre estos:

1. Existen y se usan los recursos para las mediciones
2. Se tiene un registro histórico de fallas, interrupciones y mediciones.
3. Existe equipamiento de registro automatizado e informatizado que puede ser empleado para los estudios de confiabilidad focalizada o global.

De forma complementaria el seguimiento a la continuidad del servicio, en términos de impactos y costos por las pérdidas de producción y por la reparación de equipos dañados.

De los estudios internacionalmente realizados [2] puede observarse que un elemento que define los criterios de confiabilidad es el estudio de los registros históricos de los problemas o las interrupciones, y desde los que se demuestra la incidencia según fuentes y estadísticas de las fallas.

De los problemas que afectan la confiabilidad y calidad de las redes eléctricas es siempre de interés saber cuales son más frecuentes que otros y, también, cuáles son las causas más frecuentes de que estos problemas se presenten. En las Tablas siguientes se da a conocer este tipo de antecedentes, obtenidos de estadísticas internacionales.

Tabla. Frecuencias de ocurrencias de fallas de sistemas eléctricos

Problema	**Armónicas**			**Fuga a tierra**			**Perturbación de Voltaje**		
Frecuencia de ocurrencia	**Alta**	**Media**	**Baja**	**Alta**	**Media**	**Baja**	**Alta**	**Media**	**Baja**
Sector									
Comercial	71%	20%	9%	20%	31%	49%	51%	27%	22%
Público	60%	20%	20%	31%	31%	31%	31%	49%	20%
Industrial	60%	31%	9%	40%	31%	31%	40%	31%	29%

Significado de la magnitud de la frecuencia de ocurrencia indicada:
Alta: Mayor que doce incidentes al año con resultado de corte de energía eléctrica o de corte de procesos.
Media: Dos a doce incidentes por año.
Baja: Entre cero y un incidente al año.

Tabla 2. Fuentes comunes de falla de sistemas eléctricos

Problema	**Fuente(s)**	**Comercial**	**Público**	**Industrial**
Armónicas	Sistemas computacionales	71%	78%	34%
	Conexión carga inductiva	5%	-	22%
	Fuentes de poder	10%	17%	22%
	Combinación de factores	14%	5%	22%
Fugas a tierra	Sistemas computacionales	100%	100%	41%
	Equipos de control de procesos	-	-	59%
Perturbación de voltaje	Rayos	-	-	-
Transitorios	Conexión carga inductiva	12%	31%	43%
Voltajes impulsivos	Falla en la red pública	88%	69%	57%
Ruido eléctrico	Conexión de carga elevada	-	20%	40%
	Cargas cíclicas	-	-	100%

Casos en que se aplica la aparición o fuente de algunos problemas:
Conexión de carga inductiva: motores, transformadores, encendido de tubos fluorescentes.
Cargas cíclicas: hornos y soldadoras al arco.

El Registro Histórico de Mediciones en la ECG refleja memorias de 5 años y ha sido confeccionado sobre más de 100 objetos (cables de enlace y distribución) que conectan objetos eléctricos (subestaciones, y centros de control), objetos del proceso (ventiladores, compresores, molinos, bombas) y otros de la red (Mina, excavadores, alumbrado y agregados de las plantas), con elementos comunes cables, transformadores y motores. En este se mezclan los eventos asociados a la evaluación de los cables y también las incidencias o afectaciones, sin embargo no se detalla sobre las inversiones.

Las mediciones se han planificado para estudios con periodicidad y en algunos casos recurrencias, pero se altera por la aparición aleatoria de afectaciones a las plantas y que se clasifican como afectaciones internas y externas.

El registro histórico de las mediciones se guarda en formato de texto, para cada objeto, y este formato es compatible para el caso de las afectaciones y las averías. Según las tablas arriba se observa que la incidencia de las fugas a tierra (en nuestro caso las fallas de aislamiento) constituyen aproximadamente la tercera parte de las fuentes de problemas, por lo que se tiene un impacto elevado y al relacionarlo con las afectaciones internas registradas permiten vislumbrar posibilidades inmediatas de mejoras de la confiabilidad, o de integración de criterios que tomen como base las predicciones de confiabilidad con escalón primaria en el comportamiento de la red de media tensión.

Es por esta razón, que en este trabajo se toma como punto de partida el registro de mediciones y se considera como la base metódica para el inicio de estudios de confiabilidad más abarcadores, focalizando solo su preponderancia con respecto a otros procedimientos para lograr la sistematicidad necesaria y en consecuencia su potencialidad para elaborar nuevos recursos o métodos de evaluación de la red.

3. CAPÍTULO II

"PARAMETRIZACIÓN DEL OBJETO "

En el capítulo anterior hemos establecido como punto de partida el registro de mediciones y su consideración como la base para elaborar nuevos recursos o métodos de evaluación de la red.

Desde la dimensión puramente técnica, existen procedimientos y caracterizaciones del objeto, y del intercambio de información sobre el objeto que sirven como elementos metodológicos para obtener los recursos evaluativos y de esta forma progresos sobre la sistematización del conocimiento del objeto ¨Red de media tensión de la ECG¨

A modo de propuesta una metodología para lograr escalonar la automatización y sistematización para predicción, estimación y mantenimientos podría establecerse como:

<u>Metodología para la realización de ensayos de cables de media tensión y el análisis de estos resultados</u>

1. Modificar procedimiento de medición (análisis de prioridades e impactos).
2. Establecer el grupo de trabajo para los ensayos y para los análisis (formas de trabajo según regimenes o estados de la red (estacionario, transitorio a corto, mediano o largo plazo, auxiliar, principal y contingencia).
3. Modificar el protocolo o acta de ensayos (para tener en cuenta consecuencias previsibles o mitigables según pronóstico).
4. Solicitar al departamento de cómputo la creación del soporte tecnológico necesario para el almacenamiento y graficado de la información obtenida con alarmas ante eventos no planificados como son: no realización de ensayo, resultados muy bajos, inclinación mayor al valor predefinido, etc.
5. Establecimiento al máximo nivel posible y con períodos no mayor de un mes de las conclusiones de los ensayos
6. Definición de las sustituciones e inversiones a corto, mediano y largo plazo.
7. Análisis semestral de los resultados de la implementación de la presente metodología.

8. Valoración de tendencias y aportaciones criteriales cuantitativas y cualitativas para la automatización, toma de decisiones y evaluación de la confiabilidad a partir de los índices elegibles o implantables.
9. Definición anual de las acciones de capacitación del personal técnico.

Desde un punto de vista más general el análisis de confiabilidad implica pensar en otros elementos más abarcadores, por lo que algunas metodologías analizan la estadística de fallas a través de los registros periódicos de la empresa (fallas registradas en la bitácora de la subestación), se clasifican las fallas en función de los elementos fallados (transformador, descargador de sobretensión, cortacorriente y desconocidas), se estiman los índices de confiabilidad y se analizan estos resultados, para cada elemento fallado y cada circuito se hace el cálculo de los índices de confiabilidad mencionados anteriormente. Se puede llegar a que el cálculo de estos índices es una referencia de la frecuencia y duraciones promedio de las interrupciones para cada circuito.

La aplicación sistemática y el trabajo proyectivo metodológico supondrán:

a. Planificación de acuerdo a sustituciones.
b. Planificación de acuerdo a probabilidades de falla.
c. Integración a método de cálculo de confiabilidad.

2.1 Procedimientos de medición.

La secuencia de medición se realiza a partir de la reunión matutina (consejillo) donde se deben coordinar las tareas en función del estado de la red, el programa de mantenimiento y el de inversiones.

El personal técnico selecciona el equipamiento, verifica sus normas y ejecuta los intercambios comunicativos, la gestión de permisos y el traslado al área. En el área se toman las medidas de seguridad y se ejecuta la medición siguiendo los métodos técnicos planteados en el epígrafe I.2, luego se conforma el reporte de medición que contiene los resultados de las pruebas y la valoración final respecto al estado del objeto medido.

El formato típico en que se guardan los resultados de las mediciones se propuso y en lo fundamental se confecciona a partir de la siguiente base:

Ensayos de los cables de media tensión

CABLES DE 10,5 KV

	Fecha	1000 V	5000 V
A	MΩ	**198000**	**125000**
B	MΩ	**219600**	**152800**
C	MΩ	**218000**	**181800**

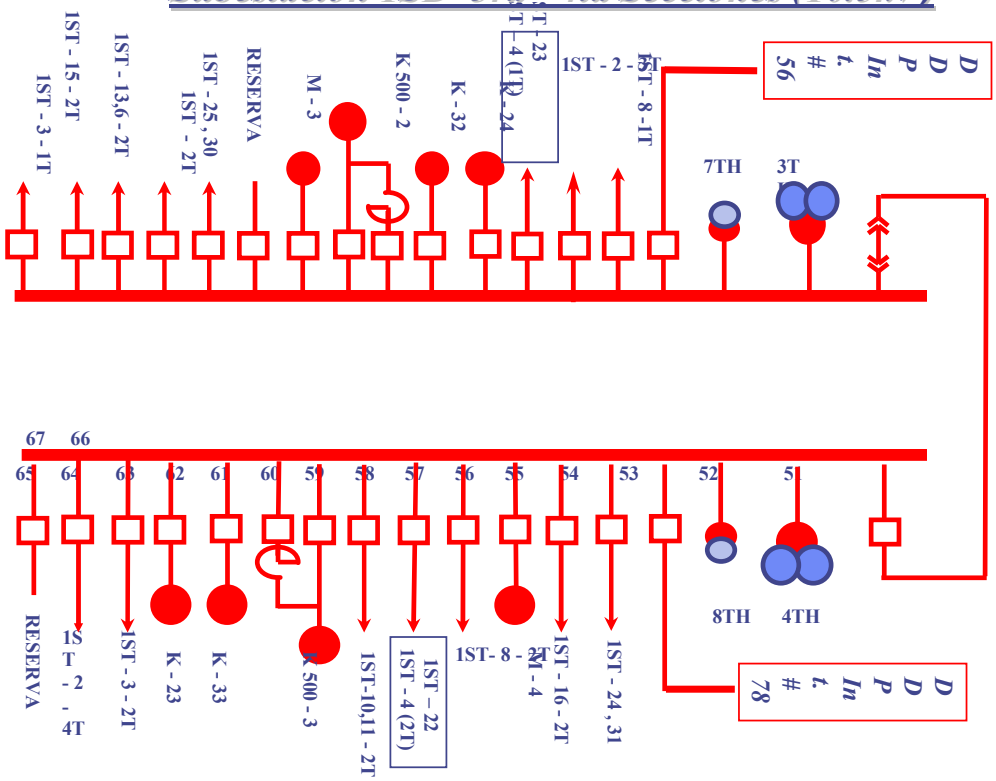
Puede verse el anexo II para una apreciación del formato actual.

Este formato como se aprecia no tiene en cuenta aspectos de tiempo de explotación, ni sobre el comportamiento histórico y tipológico. Tampoco evalúa el envejecimiento y aunque refleja las fechas no refleja su correspondencia con los ciclos de mantenimiento.

Este formato es de poca ayuda para la realización de pronósticos de comportamiento y la estimación de impactos y compensaciones.

Las mediciones en media tensión en la ECG se realizan sobre una red cuyos diagramas podemos ver a continuación:

Subestación 1SD 3ra - 4ta Secciones (10.5kV)

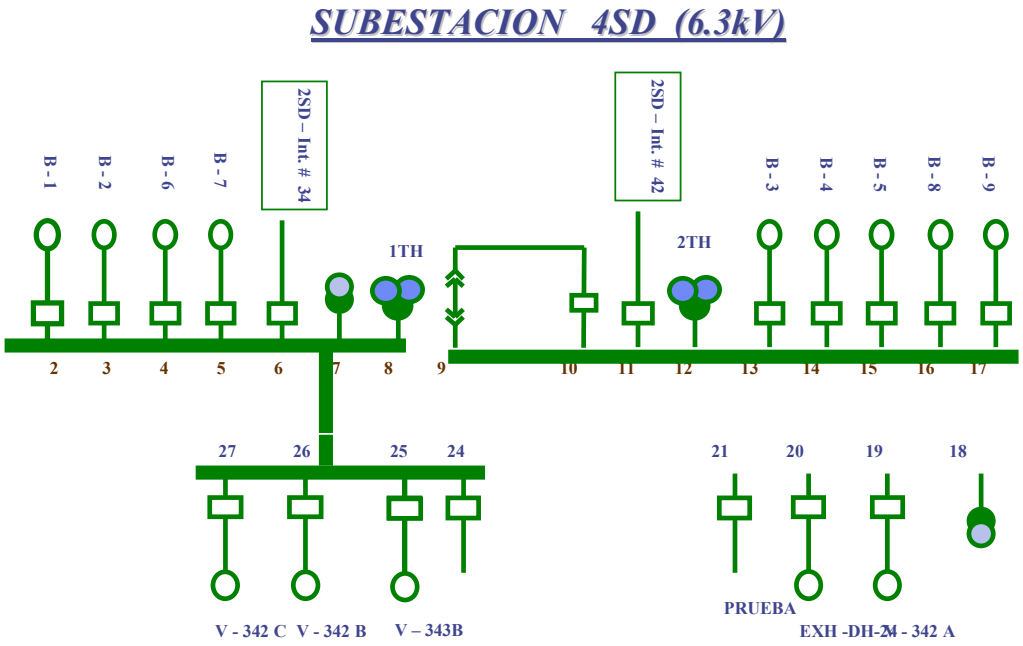


Leyenda.

Colores:
ROJO ---------- 10.5kV
VERDE ---------- 6.3kV
MARRON ------- 0.48kV

Equipos:
SD --- Subestación Distribuidora
ST --- Subestación Transformadora
TG --- Turbo Generador
V ---- Ventilador
K ---- Compresor
M ---- Molino
TH --- Transformador de Potencial.
EXH --- Exhauster
TR --- Transportador

IMPORTANTE:



2.2 Método de las pendientes.

Los reportes confeccionados por el personal de mediciones de la ECG contienen los aspectos esenciales para evaluar el estado de los elementos y establecer criterios estadísticos y predicciones sobre el comportamiento de los elementos y de la red. Estos aspectos pueden, si son convenientemente ordenados, constituirse en un método inicial de evaluación de confiabilidad.

Los elementos metodológicos en los puntos 1, 2 y 3 de la metodología propuesta y teniendo en cuenta las existencias potenciales del trabajo diario por el personal encargado en la ECG se contrastarían a partir de la implementación del método de evaluación de las pendientes, que como aporte de este trabajo, analizaremos a continuación:

Como bases a tener en cuenta:

- Según la ecuación de la ley de Ohm, el inverso de la resistencia eléctrica es el equivalente de la pendiente, al tomar la ecuación lineal.
- Los cambios de pendiente o técnicamente de aislamiento prescriben posibles fallas o fuentes adicionales de pérdidas

- La exposición térmica, y a otros agentes medioambientales solo se manifiesta con el tiempo (años), pero sus cambios pueden ser abruptos, lo que implica necesidad de seguimiento.
- La variación de los índices de tolerancia para el aislamiento medido a través del seguimiento periódico permiten estimaciones y predicciones de comportamiento y prevención contra fallas.

Con el método se pretende:

1. Obtener una herramienta gráfica y progresivamente analítica de evaluación del estado de la red.
2. Transferir las potencialidades integradoras de protocolos compartidos
3. Sentar las bases algorítmicas y de toma automatizada y en un futuro inteligente de las decisiones referidas a la red y a la distribución de energía con calidad y el mínimo de interrupciones.

Pasos

1. Evaluar y medir cables.
2. Utilización de criterios de selección.
3. Conexión con métodos de confiabilidad.
4. Factor de reducción por incidencias de fallas.
5. Procedimiento de asociación con confiabilidad y los procedimientos estadístico – probabilístico.

Para la implementación del método de evaluación por pendientes:

El reporte actual debe cambiarse a un protocolo que posea elementos flexibles para:

1. Composición de los datos.
   a. Selección aleatoria.
   b. Selección empírica (experiencias y por casos de averías o sustitución).
   c. Conformación de series.
2. Creación de gráficas de acuerdo a los datos de aislamiento.
   a. Promedio ABC a 1000 V
   b. Promedio ABC a 5000 V
   c. Fases A, B, C a 1000 V
   d. Fases A, B, C a 5000 V

A partir de las gráficas deben incorporarse:

3. Análisis histórico.
   a. Determinación de tendencias.
   b. Evolución de tolerancias.
4. Análisis zonal.
   a. Zonificación de acuerdo a coincidencia de tendencias o simetrías en las series o referencias temporales.
   b. Comportamientos cíclicos o de semejanza contextual.
5. Propuesta de concordancias para extensión a confiabilidad (análisis probabilístico).

2.3 Evaluación de confiabilidad actual de la red de media tensión,

En la red de distribución de la ECG, se interconectan

Motores: 78+4=82. En explotación ya que existen las reservas.

Trasformadores: 127 de fuerza + 124 de 600KVA de los electrofiltros.

Cables: Líneas a Subestaciones trasf --160.

Líneas a motores –82.

Líneas entre subestaciones de distribución –30.

DDP—1RP-4 líneas que tienen 5 cables de (3x182 mm^2).

2RP-3(4) líneas que tienen 2 Cables de (3x185).

5RP-2 líneas que tienen 3 cables de (3x185).

2RP--- 3RP-2 líneas que tienen 2 cables de (3x120).

4RP-2 líneas que tienen 3 cables de (3x120).

Teniendo en cuenta el volumen de los datos y su estado actual de carencia de homogeneidad o uniformidad, asumimos que el estudio de la confiabilidad en una red como esta deberá cumplir dos etapas:

Primera:

Desde el punto de vista conceptual, se consideraría parcial y su propósito fundamental sería diferenciar y darle uniformidad al sistema causal de los experimentos, y ajustarlos para la aplicación del método de las pendientes y luego el proceso de cálculo de índices. Para este trabajo se cumplirá con la

aplicación del método en forma básica, dado que la sustitución de cables no permite dimensionar el estado completo de la red.

Segunda:

Expandir el número de experimentos y los procesos de toma de decisiones, incluyendo sus formas progresivas de automatización e informatización, de manera de lograr análisis significativos del total de los datos, y gestionar también formas dinámicas de los datos, procesos dependientes y toma de decisiones.

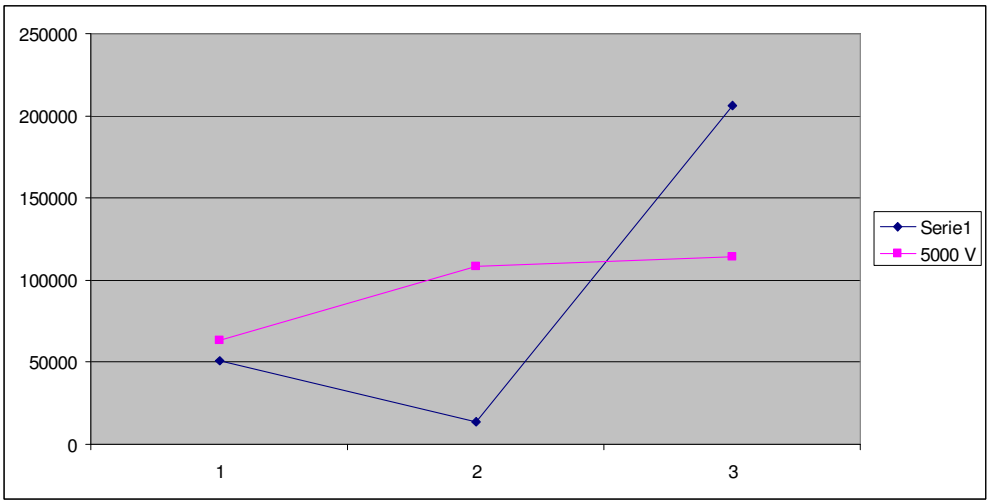
Los regímenes de trabajo y evaluación de la red mantienen en las condiciones actuales, aportan datos utilizables en procedimientos que implican:

- Mediciones en un tramo a diferentes tensiones.
- Determinación del comportamiento de la resistividad (la pendiente).
- Analizar de la pendiente en el tiempo. (envejecimiento).

Con el protocolo actual los datos que engrosan el registro histórico se pueden procesar a partir de un formato ejemplo como el que sigue:

Desde	Hasta	ene-05	1000 V	5000 V	Jun-05	1000 V	5000 V	jun-07	1000 V	5000 V
4TP-16	BO-8	A MΩ	50800	63300	A MΩ	13900	108200	A MΩ	206000	114000
		B MΩ	50700	63200	B MΩ	151400	121800	B MΩ	169000	116000
		C MΩ	47100	57800	C MΩ	133500	110800	C MΩ	170000	175000

Y luego la evaluación gráfica, que puede realizarse en un tabulador numérico nos permitiría visualizar el comportamiento con el tiempo del aislamiento. Aquí deben tenerse en cuenta todas las variaciones positivas, negativas, abruptas o en dos intervalos temporales seguidos. Las pruebas simultáneas para los casos analizados prueban de la necesidad y el potencial predictivo.



De la figura anterior se observa una gráfica trienal, y desde donde se puede apreciar pendiente positiva para el primer año, interpretado como aptitud y no deterioro del cable, con respecto a las pruebas para 5000 V y que se mantiene en el segundo periodo evaluado. Para el caso de los 1000 V, se nota pendiente negativa para el primer año y muy positiva para el segundo. Como no se tienen referencias de otras mediciones, ni vinculación con posibles variaciones en el circuito, ejemplo, sustitución de partes o conectores del cable, no es posible determinar si el cable está totalmente apto, luego la solución en este caso se transfiere a otros análisis con mayor dinámica.

El Registro Histórico de Mediciones en la ECG refleja memorias de 5 años a partir del 2005 y ha sido confeccionado sobre 136 objetos que conectan objetos eléctricos (subestaciones, y centros de control), objetos del proceso (ventiladores, compresores, molinos, bombas) y otros de la red (Mina, excavadores, alumbrado y agregados de las plantas), con elementos comunes cables, transformadores y motores.

Las mediciones se han planificado para estudios anuales (periodicidad anual), pero que se altera por la aparición aleatoria de afectaciones locales a las plantas o globales a la empresa y que se clasifican como afectaciones internas y externas.

2005

Ocurrieron 12 afectaciones internas.

2006

Ocurrieron 16 afectaciones internas.

2007

Ocurrieron 20 afectaciones internas y directamente por cables se reportaron

1. Reporte técnico de la afectación a la planta de Hornos por incendio en los cables de fuerza de los Ventilador # 216-2 y 3.
2. Avería por explosión del cable en la línea 1SD-4.
3. Afectación a la cuarta sección 1SD por explosión de la copa del cable Gabinete # 56.

2008

Ocurrieron 13 afectaciones internas y directamente por cables se reportaron

1. Averia en cable de la subeación 5SD-1.
2. Averia en cable del ventilador 23.
3. Explosión del cable de alimentación del transformador 1T de la subestación 1TP-16.
4. Explosión del cable de alimentación del transformador 62T de la estación de Fuel Oil.

2009

Ocurrieron 16 afectaciones internas y directamente por cables se reportaron

1. Cortocircuito sólido a tierra de la fase A del cable de alimentación a la 2WP desde la entrada #1 de la subestación TP-12.
2. Falta de tensión en la fase A de la línea al transformador 1T de la subestaciones 1TP-1 y 1TP-2 que se alimentan desde el armario 4 de la 1SD.

El registro histórico de las mediciones se guarda en formato de texto, aunque se han preparado versiones que utilizan procesadores de cálculo pero sin automatización y no cubren cada objeto. Este formato es compatible para el caso de las afectaciones y las averías.

Según las tablas vistas en el capítulo anterior, y que repetimos abajo la incidencia de las fugas a tierra (en nuestro caso las fallas de aislamiento) constituyen aproximadamente la tercera parte de las fuentes de problemas, por lo que se tiene un impacto elevado y al relacionarlo con las afectaciones

internas registradas permiten vislumbrar posibilidades inmediatas de mejoras de la confiabilidad, o de integración de criterios que tomen como base las predicciones de confiabilidad con escalón primaria en el comportamiento de la red de media tensión.

Tabla. Frecuencias de ocurrencias de fallas de sistemas eléctricos

Problema	Armónicas			Fuga a tierra			Perturbación de Voltaje		
Frecuencia de ocurrencia	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Sector									
Comercial	71%	20%	9%	20%	31%	49%	51%	27%	22%
Público	60%	20%	20%	31%	31%	31%	31%	49%	20%
Industrial	60%	31%	9%	40%	31%	31%	40%	31%	29%

Significado de la magnitud de la frecuencia de ocurrencia indicada:
Alta: Mayor que doce incidentes al año con resultado de corte de energía eléctrica o de corte de procesos.
Media: Dos a doce incidentes por año.
Baja: Entre cero y un incidente al año.

Tabla 2. Fuentes comunes de falla de sistemas eléctricos

Problema	Fuente(s)	Comercial	Público	Industrial
Armónicas	Sistemas computacionales	71%	78%	34%
	Conexión carga inductiva	5%	-	22%
	Fuentes de poder	10%	17%	22%
	Combinación de factores	14%	5%	22%
Fugas a tierra	Sistemas computacionales	100%	100%	41%
	Equipos de control de procesos	-	-	59%
Perturbación de voltaje	Rayos	-	-	-
Transitorios	Conexión carga inductiva	12%	31%	43%
Voltajes impulsivos	Falla en la red pública	88%	69%	57%
Ruido eléctrico	Conexión de carga elevada	-	20%	40%
	Cargas cíclicas	-	-	100%

Casos en que se aplica la aparición o fuente de algunos problemas:
Conexión de carga inductiva: motores, transformadores, encendido de tubos fluorescentes.
Cargas cíclicas: hornos y soldadoras al arco.

A partir de las correlaciones entre las paradas productivas por afectaciones energéticas y las incidencias en el registro de mediciones, se formulan las bases para la algoritmización progresiva y sistemática de la evaluación de la confiabilidad y la mejora en la toma de decisiones y en consecuencia su

potencialidad para elaborar nuevos recursos o métodos de evaluación de la red.

4. CAPÍTULO III
"APLICACIÓN DE PROPUESTAS"

La revisión de los temas tratados en el capítulo anterior y el cumplimiento de las tareas de investigación permiten lograr a partir de las mediciones y la recolección de datos se pueda aplicar el método propuesto de las pendientes a los cables de la red de media tensión de la ECG, y luego analizar sus resultados, todo ello fundamentado en:

- La aplicación del Procedimiento para el ensayo de cables de fuerza, registrado en el Sistema Empresarial de Calidad con el número 058-PO-14.
- Las mediciones obtenidas y registradas durante un período de 5 años como promedio.
- La comparación y el análisis de los resultados obtenidos con las averías registradas en este período de tiempo.
- La posibilidad de obtener otros estilos y métodos de trabajo que incrementen la confiabilidad sobre la base de los resultados de las pruebas acumulados.

Por último, se pueden evaluar las posibilidades de automatización, sistematización de experimentos y aumento progresivo de los recursos informativos con impacto en la confiabilidad.

3.1 Datos de mediciones.

Mediciones en un tramo a diferentes tensiones.

En el capítulo 1 se mostró el número de afectaciones y el número de objetos, que en el Registro Histórico de Mediciones de la ECG refleja 5 años sobre 136 objetos que conectan objetos eléctricos (subestaciones, y centros de control), objetos del proceso (ventiladores, compresores, molinos, bombas) y otros de la red (Mina, excavadores, alumbrado y agregados de las plantas), con elementos comunes cables, transformadores y motores.

Las mediciones según se puede apreciar por planificación, se busca tienda a la uniformidad de acciones sobre la totalidad de objetos, pero se altera por la

aparición aleatoria de afectaciones internas y externas. En total, se contabilizan 73 afectaciones, y de ellas 19 directamente por cables, y otras indirectamente.

El formato primario de registro para un objeto y que forma parte de los protocolos se puede observar y analizar según se muestra abajo para un objeto de la red:

EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA
GRUPO EMPRESARIAL DEL NIQUEL. MINBAS.
Carretera Moa-Baracoa km 5. CP83330. Moa. Holguín. CUBA. Pizarra: 6-8012 . Fax: 6-2240

UB MANTENIMIENTO/ Taller Eléctrico/Laboratorio de Mediciones

REPORTE

De: 461 **Distribución - No:**
Para: .
Fecha:
Asunto: **Ensayo de Cables Trifásicos.**

EQUIPO QUE ALIMENTA: **Ventilador 23**
Un: **10 kV** DESDE: **1RP/29** HASTA: **Motor**
RESULTADOS DE LA PRUEBA:

Fases	Aislamiento			Transformadores de Corriente 75/5		
	1000 V	5000 V	% Desv	Aislamiento 5000 V	Relación de Transformación	
					Devanado 1	Devanado 2
A	375 MΩ	745 MΩ	OK	216,9 GΩ	15,219 // 37 mA	15,517 // 36 mA
B	368,5 MΩ	742 MΩ	OK			
C	357,4 MΩ	706 MΩ	OK	119,3 GΩ	15.213 // 37 mA	15,402 // 36 mA

- Las mediciones y pruebas de aislamiento se hicieron por fase con las demás aterradas.
- Cable desconectado en ambos extremos. Conectado a barras en el armario de la 5TP5.

CONCLUSIONES:
El cable se encuentra APTO PARA LA EXPLOTACIÓN.

RECOMENDACIONES:

TTR Tipo: **DTR 8500** No. serie: **196541**

Megóhmetro empleado. Tipo: **C.A 6547** No. serie: **204428**

REALIZARON LA PRUEBA:

NOMBRES Y APELLIDOS

REVISÓ :_____ **FIRMA**:_____ **1/02/05**

Para el caso de averías, el formato más extendido se confecciona como sigue

Lugar y Fecha

REPORTE DE AFECTACIÓN A LA PLANTA DISPARO LÍNEA 1ST-3 (1T).

Siendo las **<<hora>>** , <<lugar>> y régimen de trabajo
Afectación detallada
Elementos de red involucrados
Mediciones registradas

Relación de los equipos disparados y su hora de restablecimiento.

Equipos afectados en el disparo de las ##:## hrs:

Denominación Hora de restablecimiento

Anotaciones adicionales

- **Finalización**

LABORATORIO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS.

Notas y Procedimientos

Línea:

Fase respecto a tierra y (1000volts tensión de prueba)

Fases	Coeficiente	Aislamiento
A	1.40	341.0 MΩ
B	1.45	356.8 MΩ
C	1.35	317.0 MΩ

Fase respecto a tierra y (5000volts tensión de prueba)

Fases	Coeficiente	Aislamiento
A	1.29	542.0 MΩ
B	1.37	634.4 MΩ
C	1.39	709.0 MΩ

Transformador:

Coeficiente	Aislamiento
1.08	913.0 MΩ

Barras de la cuchilla de carga:

Fases	Coeficiente	Aislamiento
A	1.01	14.13 GΩ
B	0.94	10.99 GΩ
C	1.02	13.26 GΩ

Punto de ruptura del aceite del transformador 41.4 Kv.

RECOMENDACIONES:

Con formato: Fuente: Negrita, Cursiva, Subrayado

Eliminado: ¶

Eliminado: ¶ Fase

Eliminado: factor

Eliminado: ¶ Fase

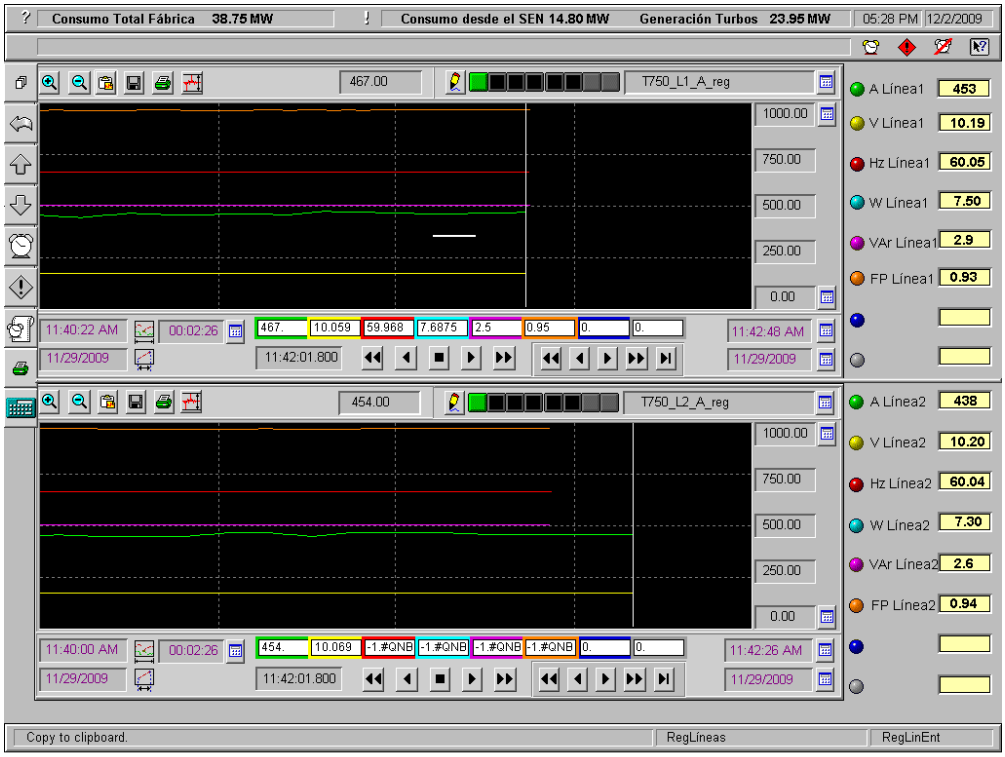
Eliminado: factor

Eliminado: ¶ Factor

Eliminado: ¶ Fase

Eliminado: factor

Con la implantación de los sistemas SCADA Citect, aparecen nuevas formas que deberán ser integradas, un ejemplo



3.2 Procesamiento.

Luego de efectuada la medición, se debe confeccionar el informe, en caso de avería esto implica cambios de formato y también implicaciones económicas.

Los datos a obtener directamente son los de aislamiento, aunque para extender las posibilidades pueden procesarse los tiempos desde el reporte anterior, las tolerancias y el estado conclusivo reportado. Además en los casos de averías o afectaciones pueden analizarse causas y consecuencias.

En los casos de aprovechar la automatización debe cuidarse los formatos de intercambio y distribución.

Es importante y obligatorio -- Determinar el comportamiento de la resistividad --

Partiendo del reporte básico, los elementos a tener en consideración se exponen abajo. Nótese que se parte de los resultados de la prueba y se toman con base comparativa

RESULTADOS DE LA PRUEBA:

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 150/5			Aislamiento Motor
	1000 V	5000 V	Desv. %	5000 V C. abs.		GΩ	5000 V MΩ
A	208,1 GΩ	198,4 GΩ	4,66	0,99		4,44	
B	151,2 GΩ	176,5 GΩ	OK				
C	197,4 GΩ	134,3 GΩ	31,96	0,98		9,73	

Las mediciones y pruebas de aislamiento se hicieron por fase con las demás aterradas y desconectados en ambos extremos.

Presenta dos fases con desviación ligeramente alterada pero el valor de aislamiento se encuentra en el orden de los GΩ.

TTR Tipo: **DTR 8500** No. serie: **196541**

Megóhmetro empleado.

Tipo: **C.A 6547** No. serie: **204428**

CONCLUSIONES:

El cable se encuentra APTO PARA EXPLOTACIÓN.

3.3 Selección de objetos

El trabajo de selección de los cables para analizar debe incluir distintas partes de la red que incluyan plantas, consumidores, y tipos de conductores, también diferentes estados, tanto los correspondientes a mediciones periódicas, como a las mediciones por anomalías tales como averías o sustituciones reglamentadas. Esta selección tendrá la variedad necesaria para permitir la evaluación de algunos índices de confiabilidad y usar el método de evaluación por pendientes.

La selección para el trabajo incluye:

2 alimentadores transformadores: 2T Subestación 1TP8, Entrada 2 Subestación 2RP

2 molinos: M3, M2

2 ventiladores: Exhauster 352, VM3

2 bombas: B1, B2

2 compresores: C33, C25

2 Averías: K-500

3.4 Aplicación por estados.

La aplicación del método de las pendientes

Caso espacial:

Se refiere a los casos de agrupación por nodos o barras, por plantas, por características geométricas dadas, por características mecánicas semejantes, o exposición a esfuerzos y agentes externos semejantes.

Caso temporal

Se refiere a la agrupación por igual periodo de pruebas, igual tiempo de exposición, igual tiempo de explotación, y condiciones anormales de fallas con semejanza.

Pueden existir agrupaciones por tolerancias o por semejanza de resultados, sin embargo, esto necesita un pre-procesamiento estadístico primario. Se formarían o compondrían estructuras tipo series de datos sobre redes y cables o series temporales tipo determinísticas o estocásticas.

El método básico inicial consiste en

- Analizar la resistividad en diferentes intervalos de tiempo y se puede definir como análisis del envejecimiento.
- Analizar las incidencias de las averías o el efecto de aleatoriedad.
- Evaluar resultados comparativos sobre la selección de elementos.

3.4.1 Estado casos periódicos

La evaluación de los cables se realiza como una combinación de los resultados de las rutinas planificadas y las contingencias por fallas. Sin embargo para lograr sistematización y coherencia en las decisiones los factores temporal y económico deben ponderarse y marcar como variables de análisis. El factor temporal implica al envejecimiento y en consecuencia incorpora distancias de análisis que arrojan resultados puntuales (evaluación anual o aleatoria),

resultados flotantes (evaluación trienal) y resultados de inflexión (evaluación de tendencias).

El programa de mantenimiento de la red de media tensión de la ECG debido a las afectaciones ya estudiadas toma como base periódica 6 meses, y sin afectaciones toma 12 meses. Estos intervalos se afectan por las inversiones o sustituciones. También otros factores temporales y económicos obligan a gravitar como otra variable a tolerancias

En el trabajo se seleccionó y proceso una muestra para cada propuesta con respaldo histórico.

Caso de Estudio y Aplicación del método de las pendientes

Compresor 33
Un: **10 kV** DESDE: **1RP/63**
HASTA: **Motor**

2005

Fases	Aislamiento			Transformadores de Corriente 200/5		
	1000 V	5000 V	% Desv	Aislamiento 5000 V	Relación de Transformación	
					Devanado 1	Devanado 2
A	324,30	156,60	51,71	1,105 G□	40,273 // 33 mA	40,436 // 38 mA
B	278,40	169,90	38,97			
C	274,90	182,10	33,75	988 M□	40.087 // 29 mA	40,341 // 38 mA
Promedio	219,40	169,53				

2006

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 200/5		
	1000 V	5000 V	Desv %	5000 V		
				C. abs.	GΩ	Conc.
A	128,00	133,00	OK	1,05	2,342	OK
B	110,00	194,00	OK			
C	183,00	214,00	OK	1,02	2,228	OK
Promedio	140,33	180,33				

2007

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 200/5		
	1000 V	5000 V	Desv %	5000 V		
				C. abs.	GΩ	Conc.
A	4,70	32,20	OK	1,05	2,2	OK
B	4,00	33,20	OK			
C	3,98	33,00	OK	1,02	2,78	OK
Promedio	4,23	32,80				

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 200/5
			Desv %	5000 V

2008

	1000 V	5000 V		C. abs.	GΩ	Conc.
A	327	210	35,77	1,02	1410	Apto
B	565	354	37,34			
C	543	266	51,01	1,01	4090	Apto
Promedio	478,33	276,67				

2009

Fases	1000 V	5000 V	Desv %	C. abs.	GΩ	Conc.
A	235,7	1,85	OK	7,47	7,97	1,07
B	228	1,88	OK			
C	183,6	1,8	OK	12,61	13,06	1,04
Promedio	215,77	1,84				

Los resultados que se aprecian en la tabla anterior permiten establecer criterios de tolerancias, influencias del método de medición y la inconsistencia de las mediciones con respecto al mantenimiento.

3.4.2 Estado casos especiales.

Los casos especiales de análisis a saber son tres:

Tipo I: Estados globales (fenómenos medio-ambientales o de impacto múltiple)

Tipo II: Estados locales (áreas o secciones)

Tipo III: Estados puntuales (fallas o afectaciones identificadas en objetos red)

Caso de estudio (tipo III)

TIPO DE FALLO

- Averías de cables

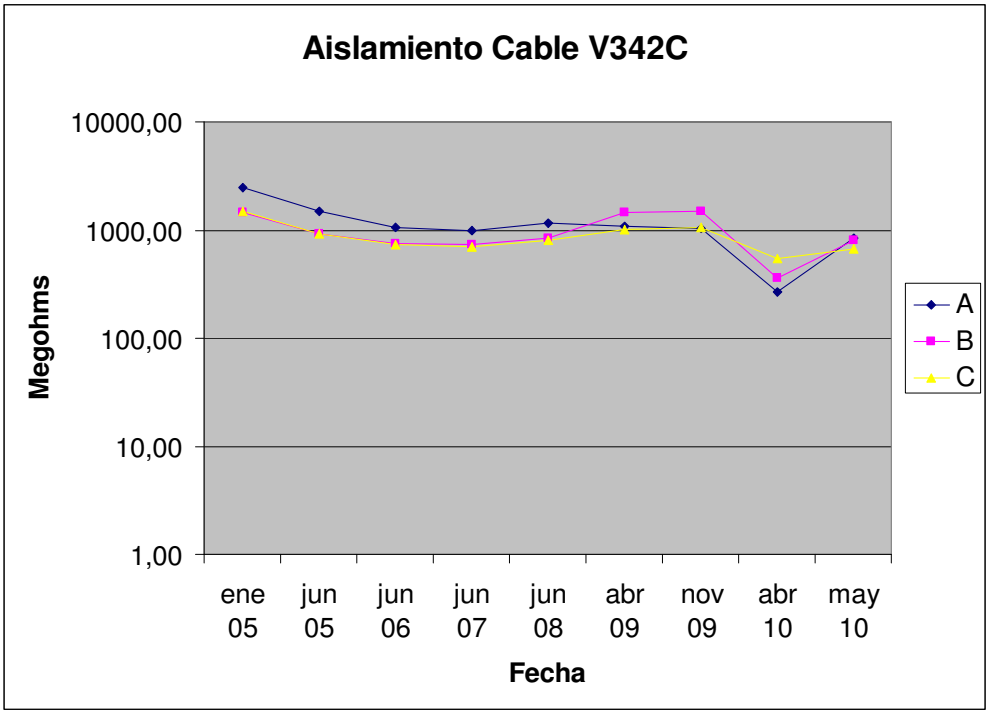
CAUSAS

- Pérdida del aceite electrotécnico.
- Humedad.
- Baja calidad de los materiales de empalme y terminales.
- Rotura de soportes y perfiles de estacadas
- Afectación por esfuerzos mecánico.
- Ausencia de pruebas periódicas de diagnóstico.

V342C

	ene 05	jun 05	jun 06	jun 07	jun 08	abr 09	nov 09	abr 10	may 10
A	2462	1481	1070	988	1167	1073	1043	266	846

B	1445	917	747	735	847	1476	1480	363	809
C	1507	916	738	695	809	1022	1071	545	667



Un segundo caso de estudio (tipo III) y que incluye equipamiento agregado

Fecha:	12 de mayo de 2008		
Asunto:	**Ensayo de Cables Trifásicos.**		
(Explosión Compresor 33.)			

EQUIPO QUE ALIMENTA: **Compresor 33**

Un: **10 kV** DESDE: **1RP / 63** HASTA: **Motor.**

RESULTADOS DE LA PRUEBA:

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 150/5			Aislamiento Motor
	1000 V	5000 V	Desv. %	5000 V			5000 V
				C. abs.		GΩ	MΩ
A	208,1 GΩ	198,4 GΩ	4,66	0,99		4,44	
B	151,2 GΩ	176,5 GΩ	OK				
C	197,4 GΩ	134,3 GΩ	31,96	0,98		9,73	

- Las mediciones y pruebas de aislamiento del cable se hicieron por fase con las demás aterradas, desconectadas en ambos extremos.

CONCLUSIONES:

Cable APTO para la explotación.

RECOMENDACIONES:

Megóhmetro empleado. Tipo: **CA 6547** No. serie: **204428**

3.4.3 Valoración de tendencias.
Caso de estudio:
Compresor 33 Un: **10 kV** DESDE: **1RP/63** HASTA: **Motor**

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 150/5			Aislamiento Motor
			Desv. %	5000 V			5000 V
	1000 V	5000 V		C. abs.		GΩ	MΩ
A	208,1	198,4	4,66	0,99		4,44	
B	151,2	176,5	OK				
C	197,4	134,3	31,96	0,98		9,73	

2005

Fases	Aislamiento			Transformadores de Corriente 200/5		
	1000 V	5000 V	% Desv	Aislamiento 5000 V	Relación de Transformación	
					Devanado 1	Devanado 2
A	324,30	156,60	51,71	1,105 GΩ	40,273 // 33 mA	40,436 // 38 mA
B	278,40	169,90	38,97			
C	274,90	182,10	33,75	988 MΩ	40.087 // 29 mA	40,341 // 38 mA

2006

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 200/5		
			Desv %	5000 V		
	1000 V	5000 V		C. abs.	GΩ	Conc.
A	128,00	133,00	OK	1,05	2,342	OK
B	110,00	194,00	OK			
C	183,00	214,00	OK	1,02	2,228	OK

2007

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 200/5		
			Desv %	5000 V		
	1000 V	5000 V		C. abs.	GΩ	Conc.
A	4,70	32,20	OK	1,05	2,2 GΩ	OK
B	4,00	33,20	OK			
C	3,98	33,00	OK	1,02	2,78 GΩ	OK

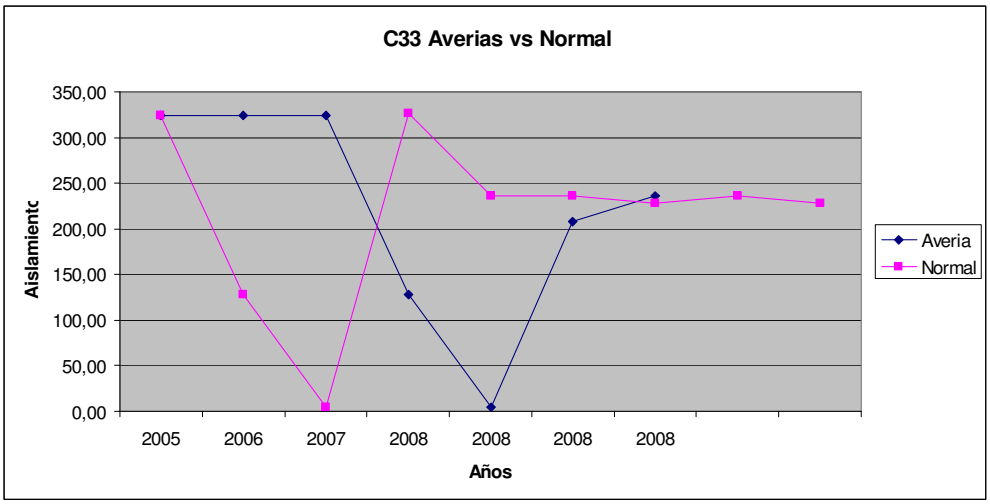
2008

Fases	Aislamiento Cable			Aislamiento TC 200/5		
			Desv %	5000 V		
	1000 V	5000 V		C. abs.	GΩ	Conc.

A	**327**	**210**	**35,77**	**1,02**	**1410**	**Apto**
B	**565**	**354**	**37,34**			
C	**543**	**266**	**51,01**	**1,01**	**4090**	**Apto**

2009

Fases	**1000 V**	**5000 V**	**Desv %**	**C. abs.**	**GΩ**	**Conc.**
A	**235,7**	**1,85**	**OK**	**7,47**	**7,97**	**1,07**
B	**228**	**1,88**	**OK**			
C	**183,6**	**1,8**	**OK**	**12,61**	**13,06**	**1,04**



El análisis de la gráfica anterior contempla una validación de las bondades supuestas del método.

Pueden apreciarse

- la tendencia a la pérdida del aislamiento desde la medición inicial
- la inflexión en el 2007 - 2008.
- las variaciones durante la ocurrencia de la avería y su solución.
- la recuperación de tendencia a partir de la solución de avería

Para el caso de mediciones normales ya desde el 2005 es apreciable la pérdida de aislamiento, con una pendiente con extremo en aislamiento nulo y justo ocurre la avería, al ser resuelta la misma se restablece lo que consideramos debe ser el comportamiento normal y a partir del que se buscaría para análisis de tolerancias.

3.5 Aspectos económicos

La evaluación de los indicadores naturales VAN y TIR obedecen a proyectos eléctricos y en todos los casos la transformación de la red implican corridas de flujo a priori y a posteriori.

El impacto de las predicciones a partir de los estudios de confiabilidad pueden valorarse por los costos de interrupción o por los tiempos de parada y su producción equivalente.

Las valoraciones Obtenidas de las averías ocurridas en pérdidas de producción:

Año	Cantidad de fallas en cables.	Toneladas de Ni afectadas (estimado)	Valor económico estimado de la afectación.	Observaciones
2005	7	31	536300	
2006	8	28	518000	
2007	3	16	371200	
2008	4	11	73700	
2009	2	6	75000	

El resultado de las pérdidas es evidente, que todo lo que se haga a tenor de disminuir las afectaciones por este tipo de incidente siempre tendrá mucho valor para la industria y para la economía del país.
Costos por la ocurrencia de averías en cables.

- Afectaciones a la producción en 92 TM, con un valor estimado de 1574200 USD.
- Gastos en cables y otros recursos necesarios para las reparaciones :

Cables 1578 MT con un valor estimado de 35 505 USD.
Materiales para empalmes y terminaciones estimados en 12400 USD
Atención a los trabajadores 128.75 USD.
Combustibles 480 Lt valorados en 336 CUC o 403.2 USD.
Otros gastos indirectos 674 USD.
Total. 49 110.95 USD

En conclusión con un gasto máximo de 49110.95 USD se podrían haber evitado la mayor parte de las perdidas incurridas registradas en la tabla que encabeza el presente análisis, si en tiempo y creando las condiciones necesarias se hubiesen sustituido o reparados estos conductores.

Valoración por predicciones.

De manera específica al analizar el impacto económico de la avería del cable que alimenta el motor del Compresor 33.

Este equipo alimenta de aire comprimido los turboaaeradores de la Planta de Lixiviación, elemento en extremo importante en el logro de la eficiencia de la extracción del Níquel.

El día 12 de mayo ocurre la avería de este cable produciéndose además la afectación de la Planta de Lixiviación a la Planta de Recuperación de Amoniaco, Planta de Hornos y a la Planta de Calcinación.
Afectaciones:
Estimado de 5 Tm de Ni registradas valor estimado de 33500 USD.
Otros aspectos afectados.

- Concentración de Ni en primera etapa de Lixiviación.
- Concentración de amoniaco.
- Extractable de Ni a la salida de Hornos de reducción.
- Por todo lo anterior afectaciones a la eficiencia metalúrgica.

Costo de la reparación.
150 mt de cable estimados en 3360 USD
Materiales de terminaciones de cables 348 USD
Otros gastos indirectos 48 USD
Total 3756 USD

Comparación de costos 33500-3756=29744 USD
Por tanto el efecto económico de realizar la sustitución de este cable en tiempo siguiendo las tendencias de los resultados de los ensayos de aislamientos es de 29744 USD.

5. CONCLUSIONES

Con la culminación de este trabajo:

1- Se demostró la inexistencia de sistematicidad y metódicas concernientes a la evaluación de la confiabilidad en el sistema eléctrica de la ECG.
2- Se evidencio que existen reservas teóricas y técnicas para la mejora continua del servicio de distribución en media tensión
3- Se aportó una método primario para análisis de confiabilidad que puede ser parte de una metodología global.
4- Se cumplieron las tareas de investigación y los objetivos propuestos.
5- Se puso de manifiesto la posibilidad de nuevas formas de evaluación del estado de la red y la existencia de márgenes dinámicos de explotación y predicción mediante el cálculo de elementos de confiabilidad y su predicción.
6- Se formula la creencia de que este tipo de trabajo ayuda a la proyección técnica y aporta los espacios necesarios para la futura evolución del servicio de distribución de media tensión en la ECG con recursos y miras abarcadores.

6. RECOMENDACIONES.

Para darle continuidad y extender los resultados logrados con este trabajo somos de la opinión que se debe:

1- Aumentar la frecuencia y la integración de las mediciones
2- Conformar modelos predictivos de confiabilidad partiendo de la base de los datos y procedimientos actuales.
3- Establecer cálculos parciales, zonales y globales concernientes a la confiabilidad.
4- Buscar la correlación entre los cálculos de confiabilidad y las posibilidades inversionistas, aprovechando la variedad de formas de recolección de datos y decisiones históricas y concretas.
5- Proponer y establecer nuevas políticas y procedimientos de trabajo para el mantenimiento y atención de los conductores de media tensión.

7. BIBLIOGRAFÍA

1- Hernández M. Eduardo “Comparación de Métodos de Análisis de Confiabilidad Aplicados a Sistemas Eléctricos Industriales”, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Morelos, 2007.

2- Vázquez C. et al ¨Cálculo de los índices de Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Distribución en Venezuela¨, CLADE 2008.

3- Arraigada M. A. ¨Evaluación de Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Distribución¨ Tesis para optar por el grado de Magister, Pontificia Universidad de Chile, 1994

4- Sayago R. L., ¨Metodología de Cálculo de Pérdidas Técnicas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica¨, Condensa S.A, 2007

5- -------¨Confiabilidad de Sistemas Eléctricos¨, ProCobre, Chile, 1999.

8. ANEXOS

Anexo 1 Sistema Eléctrico ECG

DESCRIPCION DE LAS SUBESTACIONES DISTRIBUIDORAS RP.

Subestación distribuidora 1RP: Localizada en la casa compresores, consta de cuatro secciones enlazadas (I con II y III con IV), las cuales son alimentadas con 10.5 kV de forma independiente desde el Dispositivo de Distribución Principal de la Central Termoeléctrica. Esta subestación alimenta a los motores mas potente de la empresa (los motores sincrónicos de 2500 y 1600 kW y los motores asincrónicos de 1700 kW), así como un gran número de subestaciones trasformadoras (la 1TP-16, 1TP-3, 1TP-15, etc), ver tabla No. 1.

Subestación distribuidora 2RP: Localizada en la casa de de compresores consta de cuatro secciones enlazadas (I con II y III con IV), que son alimentadas por los trasformadores 1T, 2T, 3T de 6300 kVA lo que se encargan de trasformar de 10.5 kV a 6.3 kV que es el voltaje nominal de esta subestación distribuidora. Esta subestación suministra energía a los motores asincrónicos y sincrónicos de 6,3 kV, dentro de estos estan: las escavadoras, ventiladores, compresores, etc. Además la 2RP alimenta a la subestaciones distribuidora 3RP y 4RP.

Subestación distribuidora 3RP: Esta subestación esta ubicada en la planta de Secaderos y es alimentada con una tensión de 6.3 kV desde la 2RP, y la misma consta de dos secciones enlazada entre si mediante un interruptor de poco volumen de aceite. Esta subestación distribuidora suministra energía a los trasportadores, motores asincrónicos de las trituradoras, extractores de gase de los secaderos y además a la planta de preparación de mineral.

Subestación distribuidora 4RP: Esta subestación distribuidora se alimenta con tensión de 6,3 kV desde la 2RP y la misma consta de dos secciones enlazadas entre si con un interruptor de poco volumen de aceite. Esta se encarga de alimentar a los motores sincrónicos que asignan a la bomba de agua de torre de enfriamiento y a los motores asincrónicos que accionan a los extractores de gase de la planta de Calcinación y Sínter.

Subestación distribuidora 5RP: Esta subestación se encuentra ubicada en los secaderos y se alimenta con una tensión de 10,5 kV desde la Central

Termoeléctrica, la misma esta compuesta por dos secciones enlazada entre si mediante un interruptor de poco volumen de aceite. Esta tiene la función específica de suministrar energía a varias subestaciones trasformadoras, tales como: 5TP-3, 5TP-19, 5TP-2, 5TP-4, etc.

TABLA No.1.

Subestación	**Planta**	**Suministra energía a:**
1TP- 1000 kVA	Casa de compresores	Bomba de aceite calentador
1TP-13 1000 kVA	Taller mecánico	Máquina herramienta, carpintería y garaje
1TP-5	Complejo de talleres	Alumbrado de laboratorio, taquilla, ducha y Edificio Adm.
1TP-31 630 kVA	Hornos	Primera losa de alumbrado, con emergencia la tercera
1TP-24 630 kVA	Secaderos	Alumbrado de despacho de emergencia de los Secaderos
5TP-3	Secadero	Bomba Secadero
5TP-13	Secadero	Electrofiltros, ventiladores
5TP-19	Mazut	Bomba de petróleo, Bomba de aceite
5TP-2	Homogenización	Grúa, alumbrado
5TP-1	Recuperación del mineral	Ventiladores, cribas
5TP-4 1000 kVA	Secaderos	Ventiladores, bomba de trasiego, Trasporte de correa
5TP-5	Secaderos	Aspirador de humo, Transportador de correa, Alimentador de placa
5TP-21	Mazut	Bomba de petróleo, Alumbrado
TP-7 630 kVA	Hornos	A los Secaderos
TP-20 630 kVA	Mazut	Bomba de petróleo, Bomba de aceite
TP-6 1600 kVA	Hornos	Segunda losa de los Hornos de reducción, Bomba de aceite
TP-8 1600 kVA	Hornos	Segunda losa de los Hornos de reducción, Bomba de aceite
TP-14 1000 kVA	Molinos	Aspirador de humo, 3 secciones de los electrofiltros

TP-12 1600 kVA	Molinos	Equipos de fuerza de molienda
1TP-16 1600 kVA	Recuperación NH3	Para bombas de esa sección, ventiladores
1TP-2 1600 kVA	Lixiviación	Equipos de fuerza, Casa de bomba
1TP-1 1000 kVA	Lixiviación	Arreadores, Bombas
1TP-7 1000 kVA	Calcinación	Filtro de cartucho, Electrofiltros, Espesador de Carbonato
1TP-8 1000 kVA	Calcinación	Hornos de Calcinación, Máquinas de Sínter, Filtros de manga
1TP-26 630 kVA	Recuperación de Amoniaco (NH3)	Alumbrado de la sección de filtración, Sección alambique de cola
1TP-28 630 kVA	Calcinación	Alumbrado de la planta de Calcinación, Emergencia de alumbrado en Sínter

Anexo II

Fecha: 16 de mayo del 2005
Asunto: **Ensayo de Cables Trifásicos.**

EQUIPO QUE ALIMENTA: **Compresor 33**
Un: **10 kV** DESDE: **1RP/63** HASTA: **Motor**

RESULTADOS DE LA PRUEBA:

Fases	Aislamiento			Transformadores de Corriente 200/5		
	1000 V	5000 V	% Desv	Aislamiento 5000 V	Relación de Transformación	
					Devanado 1	Devanado 2
A	324,3 GΩ	156,6 GΩ	51,71	1,105 GΩ	40,273 // 33 mA	40,436 // 38 mA
B	278,4 GΩ	169,9 GΩ	38,97			
C	274,9 GΩ	182,1 GΩ	33,75	988 MΩ	40.087 // 29 mA	40,341 // 38 mA

- Las mediciones y pruebas de aislamiento se hicieron por fase con las demás aterradas.
- Cable desconectado en ambos extremos.
- Hay una desviación muy grande entre las mediciones a 1000 y 5000 V. El cable no tiene copa terminal.

CONCLUSIONES:
El cable se encuentra APTO PARA LA EXPLOTACIÓN.

RECOMENDACIONES:

TTR Tipo: **DTR 8500** No. serie: **196541**

Megóhmetro empleado. Tipo: **C.A 6547** No. serie: **204428**