

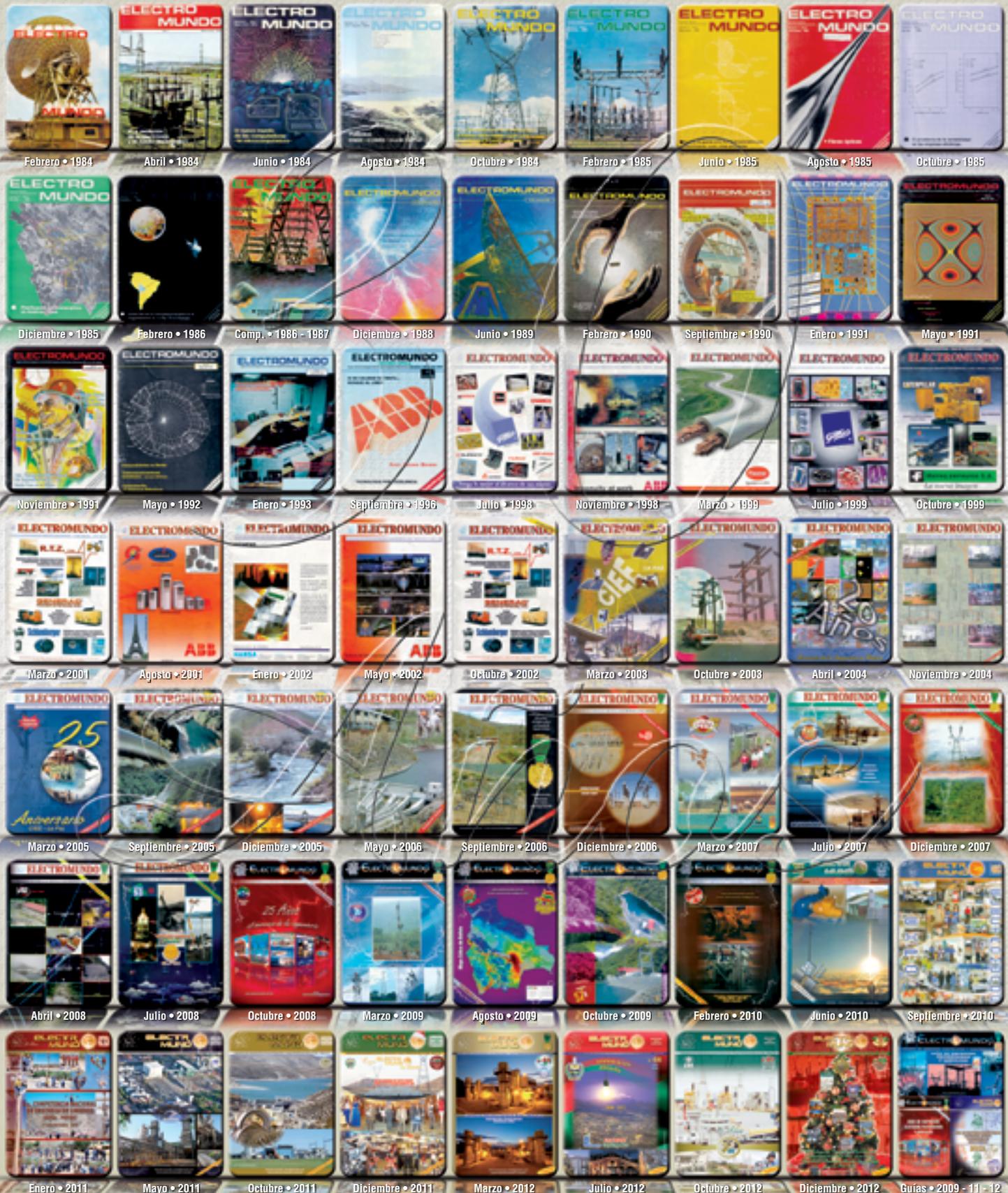


ELECTR MUND 30 Años

REGISTRO - ISSN
2220-5276

Nº 69
Abril 2013

COLEGIO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS Y ELECTRÓNICOS DE LA PAZ - BOLIVIA

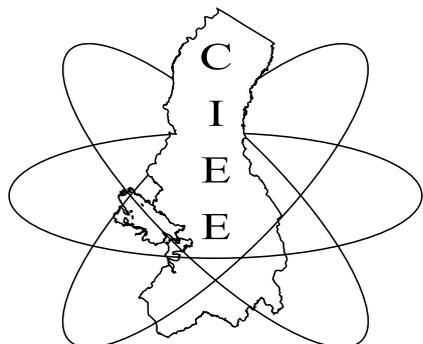


electromundo.ciee@gmail.com
www.electromundo.com.bo

Distribución Gratuita

COLEGIO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS Y ELECTRÓNICOS

Edif. Bolívar P. 8 Of. 802 • Telf./Fax 2370434
E-mail:cieelpz@electromundo.com • electromundo.ciee@gmail.com
www.electromundo.com.bo



PRESIDENTE:

Ing. Reynaldo Castañón Gomez

SECRETARIO GENERAL:

Oscar Eulate Choque

SECRETARIO DE HACIENDA:

Carlos Valda Claros

SECRETARIO ACADÉMICO:

Alex Pareja Arancibia

SECRETARIO DE Prensa Y PUBLICIDAD:

Luis Pozo Barrera

SECRETARIO DE DEPORTES

Edgar Bustos Espinoza

VOCALES:

Danira Rodrigo Alfred

Javier Perez Peñaranda

CONSEJO CONSULTIVO

Roger Ramirez Zuazo
Marco Salguero Surriable
Rene Ortiz Plata
Daniel Saul Celis Laguna
Moises Montecinos
Alex Alcón

ELECTR
MUNDO



ELECTROMUNDO

DIRECTOR

Ing. Carlos Valda Claros

COORDINADORA

Ing. Danira Rodrigo Alfred

EDITOR PUBLICISTA:

Rubén Casas Condori

Cel.: 601 65966

E-mail: electromundo.ciee@gmail.com

SECRETARIA:

Elizabeth Quisbert Mauricio

KimArt

Telf.: 2235923 • 73019540

richardcastroh@gmail.com

kimart.artografico@gmail.com

IMPRESIÓN:

ARTES GRÁFICAS

"CATACORA"

Telf.: 2284363 • Calle Sucre N° 916

editorialcatacora_@hotmail.com

NUESTRA PORTADA



ELECTROMUNDO
30 AÑOS

ELECTROMUNDO no se responsabiliza de las opiniones y/o criterios técnicos contenidos en los diferentes artículos proporcionados por sus colaboradores para su publicación.

REGISTRO ISSN 2220-5276
PROPIEDAD LITERARIA E INTELECTUAL
DEPÓSITO LEGAL: 4-3-360-83

Se autoriza la reproducción parcial ó total mencionando el medio y el Autor.

ÍNDICE

EDITORIAL:	12
ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS Gonzalo Oscar Eulate Choque, Senior Member IEEE	17
GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR CON UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO Y DE CALENTAMIENTO DE AGUA André Luiz Veiga Gimenes • Wagner Pereira Silvestre Miguel Edgar Morales Udaeta • Renán Orellana Lafuente	35
EL SIMULINK COMO HERRAMIENTA EN EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA Ing. Rogelio Choque Castro	47
CONTAMINACION ACUSTICA – RUIDO AMBIENTAL SECTOR ELECTRICO - TRANSMISION Ing. Rubén Marca Carpio	56
AYUDAS VISUALES ILUMINADAS - NUEVAS TECNOLOGIAS PARTE 2 Lic. Sergio Barbosa Calderón	60
COPIMERA 2013 CIEEB	66
PURIFICACIÓN Y REGENERACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO Ing. Marcelo Hinojosa Torrico	71
REDES NEURONALES ARTIFICIALES BOOLEANAS Paola Carranza Bravo	77
PRODUCTOS ELECTRICOS Y AUTOMATIZACION WEG Electroindustrial S.R.L.	91
LOS RIESGOS ELÉCTRICOS – SISTEMAS DE GESTIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL (PRIMERA PARTE) Ing. Benjamín N. Mamani Laruta	97
METODOS DE CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO Ing. Jorge Gutiérrez Tejerina	100
PREDICCIONES PRODUCTIVAS ABB - BOLIVIA	113
LA NUEVA MANERA DE PROBAR INTERRUPTORES DE POTENCIA TRITEC S.R.L.	123
SOLUCIONES FURUKAWA PARA DATA CENTER (SEGUNDA PARTE) SERCOELEC Ingeniería S.R.L.	131
MEDIDA DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO CONFORME A LA CLASE A Fluke	137
DIFERENCIAS ENTRE VARIADOR DE FRECUENCIA DE 6 PULSOS (ESTÁNDAR) Y VARIADOR DE FRECUENCIA AFE (ACTIVE FRONT END) ROGHUR S.A.	142

Editorial

30 AÑOS AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA

Coincidente con la publicación del N° 69, ELECTROMUNDO celebra los 30 años de creación (Octubre 1983), cumpliendo a lo largo de este período el objetivo para el cuál fue creado y tal como se expresó en el Primer Editorial de la Revista, de constituirse en el portavoz oficial de la Sociedad de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, hoy Colegio de Ingenieros Electricistas y Electrónicos de La Paz, plasmando y difundiendo en cada una de sus ediciones publicadas las inquietudes, experiencias, innovaciones tecnológicas, investigación y actividades de sus asociados.

ELECTROMUNDO a lo largo de estos 30 años, ha recorrido un largo camino pasando situaciones difíciles y momentos gratificantes, debemos reconocer el esfuerzo de todos los directivos que han pasado por el colegio y los esfuerzos realizados por mantener vigente la revista, particularmente en los momentos difíciles.

En esta oportunidad deseamos expresar nuestro mayor reconocimiento a las empresas auspiciadoras, que a lo largo de estos años han apoyado a ELECTROMUNDO para que se constituya en la primera revista técnica nacional.

Sus logros se manifiestan en las metas alcanzadas, es la única revista técnica boliviana con alcance nacional e internacional, donde se muestra la ingeniería nacional, mediante artículos elaborados por profesionales del sector eléctrico y otros profesionales afines a nuestras carreras, hemos tenido y tenemos la satisfacción que participan y han participado distinguidos profesionales permitiendo alcanzar la jerarquía con la que actualmente goza ELECTROMUNDO.

A partir del año 2011 se cuenta con el registro internacional de revistas ISSN, que permite su difusión a nivel internacional, así mismo mediante nuestra plataforma virtual es posible descargar sus artículos o la propia revista, en sus últimas ediciones.

Sin embargo, llegar a los 30 años de vida con sesenta y nueve ediciones de una revista especializada, puede parecer una tarea sencilla y fácil de alcanzar, sin embargo sí se compara con otros "logros" alcanzados en el país, esta ya no es una tarea minúscula.

En esta oportunidad los asociados del colegio, los profesionales del medio, las empresas auspiciadoras, estudiantes y público en general debemos felicitarnos por estos 30 años de vigencia, que coincide con la Edición N°69 de ELECTROMUNDO, y en esta oportunidad deseamos tiempos mejores para el país y para nuestros asociados.

ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS

Gonzalo Oscar Eulate Choque, Senior Member IEEE

ABSTRACT.

This paper presents a proposal for calculating power flow using genetic algorithms. The objective function is defined as power losses, subject to the constraints of power balance equations at each node. The definition of the objective function is based on the following postulate "The flow of energy in an electric power from generation to nodes load is done by minimizing the power losses on its way".

Keywords – Power flow, optimizations techniques- objective function, penalty factors, minimum energy loss.

I. RESUMEN. El presente trabajo presenta una propuesta denominada "Pérdidas Mínimas de geulate", para el cálculo de flujos de carga en sistemas eléctricos de potencia, utilizando algoritmos genéticos. Se define una función objetivo que son las pérdidas de potencia sujeta a las restricciones de las ecuaciones de balance de potencia en cada nodo, la definición de la función objetivo se basa sobre el siguiente enunciado propuesto en el presente trabajo "El flujo de la energía en un sistema eléctrico de potencia desde los nodos de generación hacia los nodos de consumo, es realizado minimizando las pérdidas de energía eléctrica en su recorrido". El propósito de la propuesta de solución al análisis de flujos de carga, es brindar una herramienta para el análisis de problemas de optimización en la industria eléctrica.

II. INTRODUCCIÓN.

Un sistema eléctrico de potencia tiene como finalidad llevar energía desde los centros de generación hacia los centros de consumo, mediante el uso de líneas de transmisión, subestaciones de potencia y redes de distribución [7], [10].

Para un determinado nivel de la demanda, el sistema está en equilibrio es decir, la generación es igual a la suma de la demanda más las pérdidas de potencia.

El análisis de flujos de carga nos permite conocer los valores de los parámetros eléctricos para este estado de equilibrio, los parámetros principales son el voltaje en los nodos, en módulo y argumento, a partir del conocimiento de estos parámetros es posible conocer las pérdidas de potencia y estados de carga en todos los elementos del sistema eléctrico de potencia (transformadores de potencia, líneas de transmisión) [7], [10].

Se han utilizado las denominadas técnicas tradicionales; en la determinación de los parámetros eléctricos y se han obtenido soluciones muy satisfactorias en tiempos muy reducidos. Entre estos métodos podemos mencionar los métodos de Newton Raphson y Gauss Seidel, que son utilizados en la actualidad para el análisis de flujos de carga en sistemas de alta tensión (69, 115 y 230 kV), para sistemas de distribución se utiliza por ejemplo el método de las corrientes, debido a que los sistemas de distribución son de configuración radial debido a su simplicidad y valor económico reducido.

Para el análisis de optimización de los sistemas eléctricos como son; el despacho económico de carga (minimización del costo del sistema de generación), ubicación óptima de capacitores, la complejidad del problema crece en función al método de optimización que es utilizado en el proceso de solución, tomando en cuenta que todos los análisis en los sistemas eléctricos de potencia, utilizan los resultados de los análisis de los flujos de carga.

El trabajo presentado en [5] considera la restricción del balance de potencias en todos los nodos, como la función objetivo, sin embargo

no presenta ejemplos para redes. El trabajo presentado en [21] considera la función objetivo como la suma de las diferencias de las potencias activas y reactivas al cuadrado más la sumatoria de las diferencias de la tensión al cuadrado. Los resultados obtenidos en ambos trabajos corresponden a redes eléctricas de 5 y 7 nodos respectivamente y no presentan comparaciones de los resultados obtenidos con otros métodos de cálculo de flujos de carga.

III. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA.

Considerando un sistema eléctrico de potencia con "N" nodos, donde se tienen "m" nodos PQ y "n" nodos PV y NL número de líneas, el balance de potencias se obtiene de la siguiente formulación matemática:

Ecuación de balance de potencia:
 $g(x,y)=0 \dots 1)$

Donde:

x = es el vector de variables de estado.

y = es el vector de variables independientes.

$$\sum_{i=1}^n P g_i = \sum_{i=1}^n P d_i + P_L \dots 2)$$

$$\sum_{i=1}^n Q g_i = \sum_{i=1}^n Q d_i + Q_L \dots 3)$$

Donde:

P_L = Pérdidas de potencia activa en MW.

Q_L = Pérdidas de potencia reactiva en MVar.

Las pérdidas de potencia en forma general para el tramo "i - j" son obtenidas tomando en cuenta la siguiente expresión:

$$\dot{S}_{Lij} = \frac{|(\dot{V}_i - \dot{V}_j)|^2}{Z_{ij}} \dots 4)$$

Donde:

Z_{ij} = Impedancia del elemento entre los nodos "i" y "j".

La potencia inyectada en forma general para el nodo "i" es obtenida de acuerdo a la siguiente expresión:

$$S_i = P_i + j Q_i = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i \times \dot{V}_j^* \times \dot{Y}_{ij}^* \dots 5)$$

Las variables son las tensiones en las barras PQ en módulo y ángulo y los valores del ángulo de las tensiones en las barras PV.

Para el cálculo de flujos de carga en sistemas eléctricos, se clasifican en nodos de generación, nodos de consumo y nodo de holgura (Slack o nodo flotante para el cierre del balance de potencias), en el siguiente cuadro se presenta el resumen de las variables en cada tipo de nodo:

Cuadro N° 1 Especificación de variables.

Tipo Barra	Parámetros Eléctricos					
	Pg	Qg	Pd	Qd	V (Tensión)	° (Angulo)
PQ	No Existe	No Existe	Especificada	Especificada	No se conoce	No se conoce
PV	Especificada	No se conoce	Especificada	Especificada	Especificada	No se conoce
SLACK	No se conoce	No se conoce	Especificada	Especificada	Especificada	Especificada

Fuente: Grainger John J. and Stevenson Jr. William D [7].

Los nodos PQ son nodos donde existe demanda activa y reactiva, los parámetros eléctricos que se calculan son la tensión en el nodo y el ángulo de la tensión.

Los nodos PV son nodos donde se conoce la potencia activa generada y la tensión de nodo, los parámetros eléctricos que se calculan son potencia reactiva generada y el ángulo de la tensión.

El nodo SLACK (de holgura) es utilizado para cerrar el balance de potencias activa y reactiva, los parámetros eléctricos que se calculan son la potencia activa y reactiva generada.

Pg, Qg Potencia activa y reactiva generada.

Pd, Qd Potencia activa y reactiva demandada.

El análisis de flujos de carga nos permite determinar los parámetros eléctricos que no se conocen, para cada tipo de nodo considerado.

IV. PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA.

Una alternativa es el análisis de flujos de carga mediante técnicas de optimización basadas en el siguiente postulado: **“basado en el principio de que la naturaleza siempre esta minimizando recursos en todo el proceso de conversión de la energía en forma general, se enuncia lo siguiente: “El flujo de la energía en un sistema eléctrico de potencia desde los nodos de generación hacia los nodos de consumo, es realizado minimizando las pérdidas de energía eléctrica en su recorrido”.**

Considerando el anterior postulado, el problema de optimización tiene como función objetivo la minimización de la suma de las pérdidas de potencia, donde la restricción; se debe cumplir el balance de potencias en cada nodo.

Basada en el anterior enunciado en un sistema eléctrico de potencia, las pérdidas de potencia corresponden a las pérdidas mínimas de potencia, que toman en cuenta las restricciones operativas del sistema eléctrico.

La función objetivo son las pérdidas totales de potencia activa del sistema eléctrico de potencia:

$$F_{min} = P_L \quad \dots 7)$$

Las restricciones del problema de optimización son; que se debe cumplir el balance de potencia en todos los nodos y la tensión se encuentra entre límites:

$$\sum_{i=1}^n P_{g_i} = \sum_{i=1}^n P_{d_i} + P_L \quad \dots 8)$$

$$\sum_{i=1}^n Q_{g_i} = \sum_{i=1}^n Q_{d_i} + Q_L \quad \dots 9)$$

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad \dots 10)$$

Donde:

$$P_{g_i} = Real \left[\sum_{i=1}^n V_i \times \dot{V}_j^* \times \dot{Y}_{ij}^* \right] \quad \dots 11)$$

$$Q_{g_i} = Imag \left[\sum_{i=1}^n V_i \times \dot{V}_j^* \times \dot{Y}_{ij}^* \right] \quad \dots 12)$$

Para la solución al anterior problema, se pueden recurrir a diversas técnicas de solución entre los que podemos mencionar los algoritmos genéticos, asimismo se pueden utilizar las herramientas del software Matlab como es el uso de la función fmincon, etc.

En el presente trabajo se utilizó los algoritmos genéticos donde las restricciones del problema son sumadas a la función objetivo tomando en cuenta factores de penalización, por lo tanto la función modificada de la función objetivo se presenta a continuación:

$$F_{min} = P_L + |DS| + |P_{pd} - P_L| \quad \dots 13)$$

Donde:

$$P_L = \sum \frac{NL}{Z_{ij}} |\dot{V}_i - \dot{V}_j|^2 \quad \dots 14)$$

$$P_{pd} = real \left(\sum_{i=1}^n (\dot{S}_{g_i} - \dot{S}_{d_i}) \right) \quad \dots 15)$$

$$P_{pq} = imag \left(\sum_{i=1}^n (\dot{S}_{g_i} - \dot{S}_{d_i}) \right) \quad \dots 16)$$

$$DS = \sum_i^n (\dot{V}_i \times \dot{V}_j \times \dot{Y}_{ij}) - \left(\sum_i^n \dot{S}_{g_i} - \dot{S}_{d_i} \right) \quad \dots 17)$$

La última expresión representa que la potencia inyectada en el nodo “i” calculada con los valores de la tensión, deben ser iguales a la potencia inyectada en el nodo “i” calculada como la diferencia de la potencia generada respecto de la potencia demandada.

Como se mencionó líneas arriba, se ha utilizado los algoritmos genéticos.

V. ALGORITMOS GENÉTICOS.

Los algoritmos genéticos, son algoritmos de búsqueda basados en el mecanismo de selección natural y teoría genética Goldberg (1989) [8].

Los algoritmos genéticos son métodos adaptativos que son usados para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones,

las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por el biólogo Charles Darwin (1859) [1], [16].

El Algoritmo Genético Simple, también denominado Canónico, se representa en el pseudo código de algoritmos genéticos [14]. Como se verá a continuación, se necesita una codificación o representación del problema, que resulte adecuada al mismo. Además se requiere una función de ajuste o adaptación al problema, la cual asigna un número real a cada posible solución codificada. Durante la ejecución del algoritmo, los padres deben ser seleccionados para la reproducción, a continuación dichos padres seleccionados se cruzarán generando dos hijos, sobre cada uno de los cuales actuará un operador de mutación. El resultado de la combinación de las anteriores funciones será un conjunto de individuos (posibles soluciones al problema), los cuales en la evolución del Algoritmo Genético formarán parte de la siguiente población.

Existen cinco factores que influyen en el desempeño de un algoritmo genético:

- El método de la representación de las soluciones (como son codificados los cromosomas).
- Una técnica para la generación de una población inicial de posibles soluciones (por lo general se utiliza un proceso aleatorio).
- Una función de evaluación que nos mida la calidad de las soluciones, clasificando las soluciones en términos de su aptitud.
- Un conjunto de operadores genéticos que alteran la composición genética de los individuos de la población a través de las generaciones.
- Configuración de los valores de los parámetros del algoritmo (tamaño de la población, probabilidad de cruzamiento, probabilidad de mutación, criterio de parada, etc.).

PROCEDURE ALGORITMOS GENÉTICOS

```
begin
    t←0
    Inicializar P(t);
    Evaluar P(t);
    while (no termina la condición) do
    begin
        recombinar P(t) para crear C(t);
        evaluar C(t);
        seleccionar P(t+1) de P(t) y C(t);
        t←t+1;
    end
end
```

V.1 Operadores Genéticos.

La gran mayoría de las variantes de los algoritmos genéticos utilizan como operadores genéticos la selección, cruza y mutación.

V.1.1 Operador de Selección.

La contribución de la selección en el funcionamiento de un algoritmo genético es concentrar la búsqueda de la solución óptima en las regiones prometedoras del espacio de búsqueda. Si el tipo de selección es muy exigente, la búsqueda terminará prematuramente y si el tipo de selección es muy débil, el algoritmo convergerá lentamente a la solución. En general se recomienda comenzar con una presión selectiva baja y utilizar una presión selectiva alta a medida que avanza en el número de generaciones [5], [8].

Las principales alternativas propuestas para este operador son; selección proporcional (método de la ruleta), Selección por muestreo estocástico universal, selección por ranking, selección por torneo.

V.1.2 Operador de Cruzamiento (Crossover).

El proceso de búsqueda es realizado en fases consecutivas de explotación y exploración. Por un lado, la selección dirige la búsqueda hacia áreas prometedoras y por el otro, los operadores de combinación pretenden explorar el espacio del problema generando nuevas soluciones a partir de las existentes, introduciendo un componente de innovación al proceso [5], [8], [16].

El cruzamiento o cruza es una operación de combinación sexual de cromosomas entre dos individuos. La idea es segmentar a los padres en dos o más fracciones para después intercambiar

las partes para formar los nuevos individuos. Las principales variantes para este operador son las siguientes:

- Cruzamiento en un punto.
Se selecciona un punto de corte que corresponde a una posición al azar entre 1 y la longitud del cromosoma y se intercambian los segmentos análogos de las dos cadenas.
- Cruzamiento en dos puntos.
Se eligen dos puntos de corte al azar y se intercambian los segmentos medios de ambas cadenas, se considera a los extremos de la cadena como sitios contiguos.
- Cruzamiento uniforme.
Para cada posición de bit de una cadena a generar, aleatoriamente se elige el bit de la misma posición de alguna de las cadenas generadoras.

V.1.3 Operador de Mutación.

El operador de mutación, proporciona un elemento de aleatoriedad en la vecindad de los individuos de la población.

El principal objetivo de este operador, es promover una variación mediante saltos aleatorios en el espacio de búsqueda [5], [8]. Una forma típica de la mutación consiste en decidir con una probabilidad determinada, para cada gen del nuevo individuo, si se altera o no el valor que presenta.

V.1.4 Criterio de Convergencia de Aptitud.

Puede suceder que existan soluciones equivalentes o casi equivalentes a un problema, que obtengan valores de aptitud similares. En ese caso, es probable que no haya una solución que se imponga en la población (y el criterio de terminación por convergencia de identidad nunca se cumpla) [5], [16]. Este criterio no espera a que la población se componga mayoritariamente de una sola solución, sino que finaliza la ejecución del algoritmo cuando los valores de aptitud de un determinado porcentaje de las soluciones son iguales, o difieren en un pequeño porcentaje. Por ejemplo, cuando el 90% de las soluciones tenga valores de aptitud que no difieran en más de un 1%.

V.1.5 Manejo de Restricciones.

Por lo general en problemas de optimización sujeto a restricciones, los operadores genéticos generan descendientes no factibles. Para corregir este problema, se han propuesto varias técnicas que puedan tomar en cuenta las restricciones en los algoritmos genéticos. Estas técnicas pueden ser clasificadas en los siguientes métodos:

- Método de Rechazo o Eliminación.
- Método de Reparación.
- Método de Penalización.

El método de rechazo consiste en eliminar los cromosomas generados que no cumplan las restricciones.

El método de reparación consiste en tomar cromosomas no factibles y mediante algún procedimiento de reparación, introducir nuevamente este cromosoma en el conjunto de soluciones factibles.

El método de penalización, es la técnica más utilizada para problemas con restricciones. Esta técnica transforma un problema restringido en un problema no restringido penalizando las soluciones no deseadas [5], [8].

V.1.6 Clasificación de Funciones de Penalización.

Existen entonces métodos destinados a contemplar la existencia de restricciones en el problema:

Se modifica la función de adaptación, agregándoles términos o factores que tengan en cuenta si la solución cumple las restricciones. En caso de no cumplirlas, disminuye el valor de la aptitud de la solución considerada, de modo que otra con similar aptitud que si cumpla la restricción, tenga mejores probabilidades de sobrevivir.

- *Penalizaciones Estáticas.*
Las penalizaciones no cambian con la cantidad de generaciones.
- *Penalizaciones Dinámicas.*
Las funciones de penalización cambian con las generaciones, de acuerdo a un

esquema prefijado. En general, al principio las penalizaciones son suaves o inexistentes, aceptando cualquier solución.

Conforme avanza la cantidad de generaciones, se van poniendo más restrictivas y cerca del final de la corrida, solo aceptan soluciones que cumplan todas las restricciones, penalizando severamente a las demás.

- **Penalizaciones Adaptativas.**

Uno o más factores de las funciones de penalización cambian de acuerdo al progreso de la corrida, de acuerdo a la cantidad de soluciones factibles que se encuentran en la población, y la cantidad de generaciones restantes.

En forma general la función de adaptación [5] que toma en cuenta las restricciones es la siguiente:

$$G = w_1F + w_2f_2 + w_3f_3 \dots 18)$$

Donde:

F = Es la función de evaluación original.

f_2 y f_3 = Son las funciones asociadas a las restricciones del problema.

w_1, w_2 y w_3 = Son los pesos que pueden tomar valores de acuerdo al tipo de penalización a utilizar.

VI. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS EN LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.

VI.1 Representación.

La cantidad de variables al análisis de flujos de carga, corresponde a los ángulos de las tensiones de las barras tipo PQ y a las magnitudes de las tensiones para las barras de tipo PV, es decir la cantidad de variables desconocidas es igual a "n".

$$n = NPV + 2 NPQ \dots 24)$$

Donde:

NPV = Número de barras de tipo PV.

NPQ = Número de barras de tipo PQ.

Por ejemplo en el sistema de prueba de la IEEE 14 nodos, la cantidad de variables incógnitas es de 22 (9 barras de tipo PQ y 4 barras de tipo PV). Debido a la cantidad de variables incógnitas,

que varían en función al tamaño del sistema eléctrico de potencia, se define la codificación real que además requiere poco requerimiento de memoria.

Para fines de facilitar la programación, la cantidad de variables es igual a dos veces la cantidad de nodos, donde se mantiene constante las magnitudes de las tensiones en las barras de tipo PV y la barra SLACK.

$$V[v_1, v_2 \dots v_N, \delta_1, \delta_2 \dots \delta_N]$$

Donde:

V_i = Módulo de la tensión.

δ_i = Angulo de la tensión.

N = Número de nodos del sistema eléctrico de potencia.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \dots 19)$$

$$\delta_{min} \leq \delta_i \leq \delta_{max} \dots 20)$$

VI.2 Población Inicial.

La población inicial es generada en forma aleatoria, tomando en cuenta los límites de la tensión en módulo y argumento de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$pob_{i,1..N} = V_{min} + rand \times (V_{max} - V_{min}) \dots 21)$$

$$pob_{i,N+1..2N} = \delta_{min} + rand \times (\delta_{max} - \delta_{min}) \dots 22)$$

Para que sea considerada una posible solución, adicionalmente debe satisfacer las siguientes condiciones:

$$P_L > 0 \text{ y } P_{pd} > 0 \dots 23)$$

Con el cumplimiento de estas condiciones, se garantiza soluciones factibles, porque las pérdidas de potencia en un sistema eléctrico de potencia son mayores a cero.

Donde:

Ppd = Son las pérdidas de potencia calculadas del balance de potencias del sistema eléctrico de potencia.

rand = Es un número aleatorio que varía entre 0 y 1. La restricción del balance de potencias en todos los nodos, representada mediante la expresión 24) y la restricción de la diferencia de pérdidas de potencia, representadas mediante las expresiones 26), 27) y 28), es considerada en la función de adaptación.

Se ha considerado la función de penalización estática.

Las restricciones que se toman en cuenta son las siguientes:

- Los límites de tensión son considerados al momento de generar la población inicial.
- El balance de potencia en todos los nodos del sistema eléctrico de potencia y es representada mediante la siguiente expresión:

$$DS = \dot{S}_i - (\dot{S}_{g_i} - \dot{S}_{d_i}) \dots 24)$$

Donde:

$$\dot{S}_i = \sum_{i=1}^N \dot{V}_i \times \dot{V}_j^* \times \dot{Y}_{ij}^* \dots 25)$$

- El balance de las pérdidas de potencia activa.

$$P_L = \text{real} \left(\sum_{i,j}^{NL} \frac{|\dot{V}_i - \dot{V}_j|^2}{Z_{ij}} \right) \dots 26)$$

$$Ppd = \sum_{i=1}^N Pg_i - Pd_i \dots 27)$$

$$P_L - Ppd \rightarrow 0 \dots 28)$$

DS=Variable utilizada para representar el balance de potencia y representa que la potencia que ingresa (o sale) a un nodo es igual a la diferencia de la potencia generada respecto de la potencia demandada.

VI.3 Función de Aptitud.

La función de aptitud propuesta en el presente trabajo, corresponde a la función que toma en cuenta las restricciones de la expresión 13) y también considera la penalización estática [5].

A continuación se presenta la función de aptitud utilizada a lo largo del presente trabajo:

$$F_{min} = P_L + w_1 \times DS + w_2 \times (P_L - Ppd) + w_3 \dots 29)$$

Donde:

El valor del peso w_1 se toma como valor de 100.
El valor del peso w_2 se toma como valor de 100, para garantizar que la diferencia de pérdidas de potencia tienda a un valor más próximo a cero.
El valor de w_3 toma un valor de 1 o de 100, dependiendo del cumplimiento de las restricciones del sistema eléctrico de potencia.

DS = es la suma del balance de potencias inyectadas en cada nodo, se toma la parte real.

P_L = Pérdidas de potencia activa.

Ppd = Pérdidas de potencia activa, calculadas del balance de potencias del sistema eléctrico de potencia.

w_1, w_2 y w_3 = Son los pesos con valores definidos, para incluir las restricciones en la función de adaptación.

En base a esta función los individuos son clasificados en orden descendente, en función a su aptitud. Los individuos más aptos son aquellos que presentan un valor menor de pérdidas que cumplen las restricciones de que las pérdidas de potencia sean mayores a cero.

VI.4 Operadores Genéticos.

- Criterio de Selección.

Para la selección de los individuos que pueden ser utilizados para la generación de la siguiente descendencia, se ha utilizado el método de Ranking, además permite que los mejores individuos pasen siempre a la siguiente generación. Se considera que el elitismo es muy importante para conseguir resultados satisfactorios.

- Operador de Cruzamiento.

Se ha utilizado el cruce lineal de Wright [5], [8], [16], este tipo de operador de cruzamiento, toma dos individuos "a" y "b" como progenitores, para generar tres descendientes "c", "d" y "e", la forma de generación es la siguiente:

$$pob_c = \alpha \times pob_a + (1 - \alpha) \times pob_b \dots 30)$$

$$pob_d = (1 + \alpha) \times pob_a - \alpha \times pob_b \dots 31)$$

$$pob_e = \alpha \times pob_a + (1 + \alpha) \times pob_b \dots 32)$$

Donde:

α = Es un valor aleatorio que varía entre 0 y 1.

Se toman en cuenta aquellos individuos que cumplen con la siguiente restricción:

$$P_L > 0 \text{ y } Ppd > 0 \dots 33)$$

Con el cumplimiento de estas condiciones, se garantiza soluciones factibles, porque las

pérdidas de potencia en un sistema eléctrico de potencia es positivo y mayor a cero.

Los individuos que no cumplen con la anterior restricción, son rechazados. Se ha considerado que el 40% de la población, es utilizado para generar el 60% de las posibles soluciones.

No se ha utilizado el operador de mutación en el presente trabajo.

VI.5 Ajuste de las Tensiones.

Los nuevos individuos son generados a partir de los operadores de cruzamiento y de la generación de una porción de la población en cada generación, existe la posibilidad de que los valores de tensión en módulo y argumento, puedan encontrarse cerca de la solución. Una forma de ajuste de los valores de las tensiones, es calcular para cada individuo los valores de tensión de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\dot{V}_k = \frac{1}{\dot{Y}_{kk}} \left(\frac{P_k - j Q_k}{\dot{V}_k^*} - \sum_{i \neq k} \dot{Y}_{ki} \dot{V}_i \right) \dots 34)$$

Los valores del lado derecho de la anterior expresión, corresponden a los valores especificados.

Este tipo de ajuste de los valores de la tensión, ya fue propuesto en el trabajo [3] con bastante éxito. Se hace notar que en el presente trabajo el ajuste se realiza para las tensiones de las barras de tipo PQ.

VI.6 Sustitución de la Población.

Para la inserción de individuos en la siguiente generación, se ha utilizado la inserción elitista, es decir los mejores individuos pasan a ser miembros de la población de la siguiente generación [5], [8].

Se ha considerado que en cada generación el 20% de la población sea reemplazada por una población generada en forma aleatoria. El 20% de la población a ser reemplazada corresponde a los individuos peores que resultan después de la evaluación de aptitud.

VI.7 Criterio de Terminación.

El criterio de terminación usado, corresponde al criterio de convergencia de aptitud [5], [16], donde se debe cumplir que la diferencia de las pérdidas de potencias calculadas debe ser menor a un valor de tolerancia fijado y debe cumplir la siguiente expresión:

$$abs(P_L - P_{pd}) \leq Tolerancia \dots 35)$$

Donde:

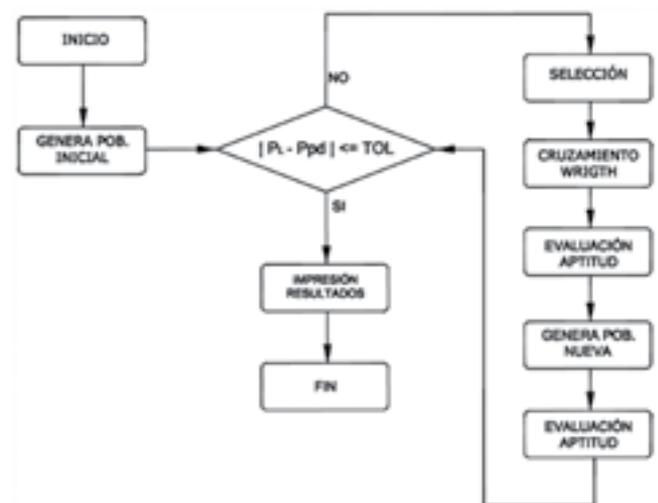
Tolerancia = La tolerancia en valores por unidad es menor a 1E-06.

VI.8 Funcionamiento.

A continuación se presenta el diagrama del flujo genético del análisis de flujos de carga.

Se ha realizado un programa en el software Matlab. El software Matlab presenta la gran ventaja de que se puede realizar la programación en forma matricial y dispone de herramientas que permiten como por ejemplo ordenar una matriz, crear matrices de unos o ceros, etc.

Diagrama N° 1: Diagrama de flujo del algoritmo genético utilizado.



Fuente: Elaboración propia.

El programa fue escrito en el software Matlab. El software Matlab [6], [9] que proviene de la abreviatura de laboratorio de matrices, es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado, con un lenguaje de

programación propio (lenguaje M). el software Matlab integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente, sin necesidad de hacer uso de la programación tradicional programa de cálculo numérico.

Inicialmente el programa no tuvo el enfoque matricial en los cálculos, tal como dispone el software Matlab. El primer programa desarrollado para el caso de la red de prueba de la IEEE de 30 nodos [20], realizó el cálculo flujos de carga en un tiempo aproximado de 6 minutos.

Inicialmente los tiempos fueron considerados no adecuados en la propuesta de solución, para ello se procedió a la depuración del programa desarrollado en Matlab, utilizando las herramientas para acelerar aplicaciones que dispone el Matlab.

Para acelerar las aplicaciones en Matlab, se dispone de la vectorización, pre asignación de memoria (preallocating), uso del analizador de código mlint y el uso de la herramienta profiler del Matlab.

VII CASOS DE ESTUDIO.

Para la validación de la función objetivo propuesta, se ha trabajado con las redes de la IEEE de 14, 30 y 57 nodos [20]. Adicionalmente se ha trabajado con sistemas radiales de 10 y 31 nodos [1], [15] para su verificación del funcionamiento del método propuesto en sistemas radiales.

Se utiliza el Matpower [17] para la comparación de los resultados. El Matpower es un software de uso libre y trabaja en el entorno del software Matlab. Este software utiliza el método de Newton Raphson para el análisis de flujos de carga. Fue desarrollado por Ray Zimmerman y Deqiang Gan de PSERC de la Universidad de Cornell. Los datos de las redes corresponden a los disponibles en el Matpower.

A continuación se presentan los parámetros utilizados para el cálculo de flujos de carga con algoritmos genéticos.

Parámetros	RED IEEE 14	RED IEEE 30	RED IEEE 57
Tamaño de la población	400	500	800
Nº de generaciones	1000	1000	1000
Porcentaje de cruce	40%	40%	40%
Porcentaje de población nueva	20%	20%	20%
Tolerancia de convergencia	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-07

Cuadro N° 2: Parámetros utilizados.

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos utilizando la metodología propuesta y que han sido comparados con los resultados obtenidos utilizando el Mathpower:

Cuadro N° 3: Comparación de resultados

Red de Prueba	Error máximo módulo tensión	Potencia activa Barra Slack Mathpower	Potencia activa Barra Slack Geulote	Tiempo de ejecución AG Geulote
	%	MW	MW	seg
IEEE14	0.00%	232.393	232.393	0.45
IEEE30	0.00%	25.974	25.974	1.80
IEEE57	0.00%	478.664	478.664	24.24
31 NODOS	0.00%	16.393	16.393	4.98

obtenidos.

Fuente. Matpower y Método Geulote.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados para la RED IEEE14:

Cuadro N° 4: Comparación de resultados red IEEE14.

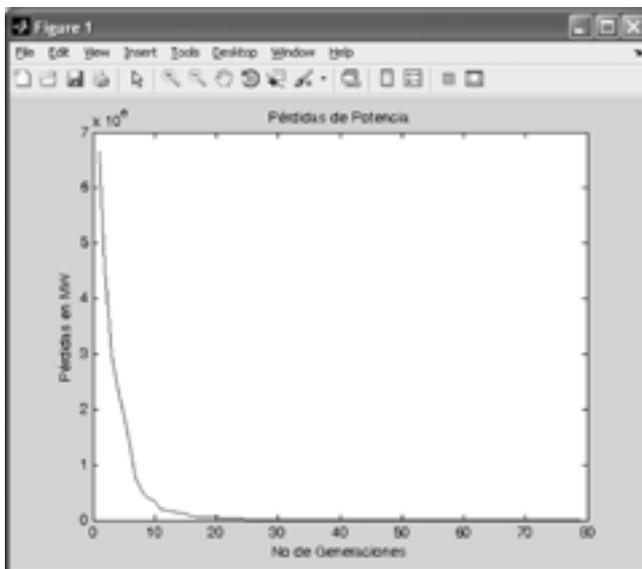
Nodo	Matpower		AG (Pérdidas mínimas Geulote)		Diferencia v
	v pu	ang °	v pu	ang °	
1	1.0600	0	1.0600	0	0.00%
2	1.0450	-4.9826	1.0450	-4.9826	0.00%
3	1.0100	-12.7251	1.0100	-12.7251	0.00%
4	1.0177	-10.3129	1.0177	-10.3129	0.00%
5	1.0195	-8.7739	1.0195	-8.7739	0.00%
6	1.0700	-14.2209	1.0700	-14.2210	0.00%
7	1.0615	-13.3596	1.0615	-13.3597	0.00%
8	1.0900	-13.3596	1.0900	-13.3598	0.00%
9	1.0559	-14.9385	1.0559	-14.9386	0.00%
10	1.0510	-15.0973	1.0510	-15.0974	0.00%
11	1.0569	-14.7906	1.0569	-14.7907	0.00%
12	1.0552	-15.0756	1.0552	-15.0756	0.00%
13	1.0504	-15.1563	1.0504	-15.1563	0.00%
14	1.0355	-16.0336	1.0355	-16.0337	0.00%

Fuente. Matpower y Método Geulote.

En el anexo 1 se presentan los resultados de las potencias calculadas en la barra de tipo SLACK, las potencias reactivas en las barras de tipo PV y las pérdidas de potencia en los distintos elementos, de la red de prueba IEEE 14 nodos.

En la siguiente gráfica se presenta el comportamiento de las pérdidas de potencia en función al número de generaciones.

Gráfico N° 2: Pérdidas de potencia en función al número de generaciones.



Fuente: Método Geulate - Elaboración propia.

De acuerdo al anterior gráfico, las pérdidas de potencia se reducen considerablemente a partir de la generación 20.

Para los casos de las redes IEEE30 e IEEE57, el comportamiento es similar, es decir en las primeras generaciones se reduce considerablemente las pérdidas de potencia, para luego cumplir con la tolerancia pre establecida.

VIII CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados que han sido obtenidos en el análisis de los sistemas eléctricos de las redes de la IEEE, validan el enunciado propuesto sobre el cual se basa el presente trabajo para definir la función objetivo (ecuación N° 17), así también se valida el postulado sobre el cual se define la función objetivo.

Como ya se mencionó anteriormente el método de las pérdidas mínimas de geulate puede ser utilizado cuando existan problemas de convergencia en el cálculo de los flujos de carga mediante los métodos tradicionales, por lo cual el método propuesto no pretende reemplazar a los métodos utilizados actualmente. Así también se conoce que para problemas de optimización la complejidad crece, debido a que la mayoría de las propuestas de solución en problemas de optimización, consideran el cálculo de flujos como un proceso externo al proceso principal de optimización.

La denominación al método propuesto es el de **Pérdidas Mínimas de Geulate**, en virtud a que la función objetivo está en función a las pérdidas de potencia, donde el flujo de carga corresponde a las pérdidas mínimas de potencia, para un determinado nivel de demanda.

Tal como se presentan las diferencias en las distintas redes de prueba, no existen diferencia en los voltajes calculados con el software Matpower y el desarrollado en el presente trabajo.

Como futuros trabajos de investigación a realizar, se propone la ubicación óptima de capacitores en sistemas radiales y la reducción de pérdidas de potencia por regulación de tensión en barras de tipo PV y manejo de Tap's en transformadores de potencia entre otros, considerando que el cálculo de flujos de carga es un proceso interno al proceso de optimización.

Así también se puede concluir que la propuesta de cálculo de flujos de carga por el método de pérdidas mínimas de geulate, puede ser utilizado para redes de configuración radial o mallada, para ello adicionalmente se han realizado pruebas en redes radiales de 31 y 34 nodos, en el anexo 2 se presentan los datos de las redes y los resultados obtenidos mediante algoritmos genéticos, para ello se han comparado los resultados obtenidos mediante algoritmos genéticos, con los resultados obtenidos con el software Gpotensol. El software Gpotensol fue desarrollado para temas de orden académico.

IX. REFERENCIAS.

- [1] Yamil Aldana Debernardi, "Restauración de Sistemas Eléctricos de Potencia Utilizando Algoritmos Genéticos", Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Eléctrica Opción Potencia, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México D.F., noviembre 2003, 188 páginas.
- [2] Allen J. Wood, Bruce F. Wollemborg, "Power Generation Operation and Control: Economic Dispatch of Thermal Units and Methods of solution". Impreso en Estados Unidos de América: John Wiley & Sons Inc, 1996, 592 páginas.
- [3] José Francisco Castro García, "Algoritmos Genéticos como Solución al Problema de Flujos de Potencia", Trabajo de Graduación, Guatemala, agosto de 2007, 121 páginas.
- [4] Dr. Carlos A. Coello Coello, "Introducción a la Computación Evolutiva (notas de curso)". Impreso en México DF 07300 enero 2004, 276 páginas.
- [5] C. De La Cruz, H. D. Patiño y R. Carelli, "Nuevo Algoritmos Evolutivo Basado en el Modelado Matemático de la Evolución de una Especie", IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL 3, N° 4, october 2005, 7 páginas
- [6] Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Jesús Vidal, "Aprenda Matlab 7.0 como si estuviera en primero", Madrid, diciembre 2005, 136 páginas.
- [7] Grainger John J. and Stevenson Jr. William D. "Análisis de Sistemas de Potencia. Editorial MacGraw-Hill/Limusa, 1996, 574 páginas.
- [8] David E. Goldberg, "Genetic Algorithm in Search Optimization, and Machine Learning", Adisson-Wesley publishing company, inc. New York. U.S.A. january 1989.
- [9] J. M. González de Durana, "Introducción a Matlab", Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, EUITI e ITT, UPV-EHU VITORIA-GASTEIZ, 26 de enero 2004, 53 páginas. Disponible: <http://www.vc.ehu.es/depsi/jg/imatlab.pdf>.
- [10] Harper, Enriquez, "Análisis Moderno de Sistemas Eléctricos de Potencia: Soluciones de flujos de potencia, Operación económica de sistemas de potencia". Impreso en México: MacGraw-Hill/Limusa, 1981, 574 páginas.
- [11] Mitsuo Gen and Runwei Cheng, "Genetic Algorithms and Engineering Optimization". John Wiley & Sons, Inc. Copyright 2000, 511 páginas.
- [12] José Castro Mora, "Optimización Global de Parques Eólicos Mediante Algoritmos Evolutivos", Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Eléctrica, septiembre 2008, 278 páginas.
- [13] Marcos Fábio Nóbrega da Costa, "Computação Evolutiva para Minimização de Perdas Resistivas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica", Tese de Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Departamento de Engenharia de Sistemas, julho 1999, 107 páginas.
- [14] Eduardo Raffo Luca, Edgar Ruiz Lizama, "Optimización por Computación Evolucionaria", Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, Vol. (8)2: pp 61-68, diciembre 2005, 8 páginas.
- [15] R. Srinivasa Rao and S.V.L. Narasimham, "Optimal Capacitor Placement in a Radial Distribution System using Plant Growth Simulation Algorithm", World Academy of Science, Engineering and Technology 45 2008, 8 páginas.
- [16] Dr. Adrian Will "Algoritmos Genéticos y Optimización Heurística", apuntes de clases. Grupo de Aplicaciones de Inteligencia Artificial Universidad Nacional de Tucumán, 290 páginas.
- [17] Ray. D. Zimmerman, Carlos E. Múrrillo-Sánchez, User's Manual "MATPOWER Power System Simulation Package", Versión 3.2, septiembre 21, 2007, 40 páginas.
- [18] Leonardo Mendonça Oliveira de Queiroz, "Algoritmos Genéticos Híbridos para Redução de Perdas Técnicas em Redes Primarias de Distribuição Considerando Variações de Demandas", Tese de Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Departamento de Engenharia de Sistemas, junho 2005, 93 páginas.

- [19] IEEE CDF format is explained in "Common Format for Exchange of Solved Load Flow Data", IEEE Trans on PAS, Vol.-92, N° 6, Nov./Dec., 1973, PP. 1916-1925.
- [20] Power Systems Test Case Archive: University of Washington. (On line) Available at: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>.
- [21] Xiaodong YIN, "Application of Genetic Algorithms to Multiple Load Flow Solution Problem in Electrical Power Systems", Laboratoire d'Electrotechnique et d'Instrumentation Catholic University of Louvain Place du Levant, December 1993, 6 páginas.



Gonzalo Oscar Eulate Choque

Ingeniero Electricista, Docente Universidad Mayor de San Andrés, Trabaja en el Departamento de Planificación de la Empresa Electricidad de La Paz S.A., áreas de interés: Regulación de Electricidad, Inteligencia Artificial, Sistemas Eléctricos de Distribución, Senior Member IEEE. Estudios de Postgrado en Administración de Empresas, Planificación, Protección de Redes de Distribución, Métodos Numéricos de la Simulación y Modelación, Análisis de los Regímenes de las Redes de Distribución, Economía Informática, Ingeniería del Software.

Página web: <http://geulate.okicode.com>

Email: geulate@gmail.com

ANEXO 1.

Cuadros de resultados del cálculo de flujos de carga en la red IEEE de 14 nodos, utilizando el método de Newton Raphson y el método propuesto de Pérdidas Mínimas de Geulate.

Cuadro N° 8: Resultados de las potencias generadas calculadas de la red IEEE14.

Nodo	Matpower		AG (Pérdidas mínimas Geulate)	
	MW	MVAr	MW	MVAr
1	232.393	-16.549	232.393	-16.549
2	40.000	43.557	40.000	43.557
3	0.000	25.075	0.000	25.075
4	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	12.731	0.000	12.731
7	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	17.624	0.000	17.624
9	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.000

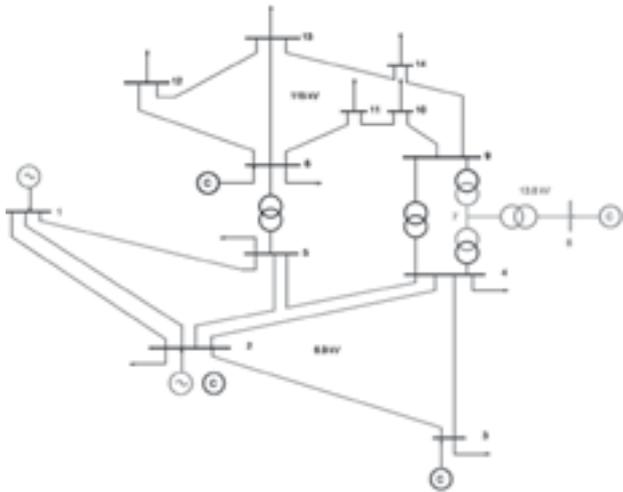
Fuente. Matpower y Método Geulate.

Cuadro N° 9: Resultados de las pérdidas en los elementos eléctricos de la red IEEE14.

Nodo i	Nodo j	Matpower		AG (Pérdidas mínimas Geulate)	
		MW	MVAr	MW	MVAr
1	2	4.2976	13.1212	4.2976	13.1212
1	5	2.7629	11.4054	2.7629	11.4054
2	3	2.3233	9.7880	2.3233	9.7880
2	4	1.6767	5.0874	1.6767	5.0874
2	5	0.9038	2.7593	0.9038	2.7593
3	4	0.3734	0.9531	0.3734	0.9531
4	5	0.5144	1.6226	0.5144	1.6226
4	7	0.0000	1.7032	0.0000	1.7032
4	9	0.0000	1.3047	0.0000	1.3047
5	6	0.0000	4.4212	0.0000	4.4212
6	11	0.0554	0.1160	0.0554	0.1160
6	12	0.0718	0.1495	0.0718	0.1495
6	13	0.2121	0.4177	0.2121	0.4177
7	8	0.0000	0.4605	0.0000	0.4605
7	9	0.0000	0.8021	0.0000	0.8021
9	10	0.0129	0.0342	0.0129	0.0342
9	14	0.1162	0.2471	0.1162	0.2471
10	11	0.0126	0.0295	0.0126	0.0295
12	13	0.0063	0.0057	0.0063	0.0057
13	14	0.0541	0.1101	0.0541	0.1101

Fuente. Matpower y Método Geulate.

Diagrama N° XX, RED IEEE 14 Nodos.



Fuente: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>.

ANEXO 2.

Cuadro N° 10: Datos de la red Radial de 31 Nodos.

N°	TIPO BARRA	v p.u.	ANG °	PQ MW	QG MW	PD MW	QD MW	QCAP p.u.	Vmax p.u.	Vmin p.u.
1	SLACK	1.00	0	25.87	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
2	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
3	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.52	0.17	0	0.75	1.05
4	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
5	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.94	0.31	0	0.75	1.05
6	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
7	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
8	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
9	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
10	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.19	0.06	0	0.75	1.05
11	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
12	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.34	0.11	0	0.75	1.05
13	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.66	0.22	0	0.75	1.05
14	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.78	0.26	0	0.75	1.05
15	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.73	0.24	0	0.75	1.05
16	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.48	0.16	0	0.75	1.05
17	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.55	0.18	0	0.75	1.05
18	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.48	0.16	0	0.75	1.05
19	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.43	0.14	0	0.75	1.05
20	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.67	0.22	0	0.75	1.05
21	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.50	0.17	0	0.75	1.05
22	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.21	0.07	0	0.75	1.05
23	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.52	0.17	0	0.75	1.05
24	PQ	1.00	0	0.00	0.00	1.92	0.64	0	0.75	1.05
25	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.75	1.05
26	PQ	1.00	0	0.00	0.00	1.12	0.37	0	0.75	1.05
27	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.55	0.18	0	0.75	1.05
28	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.79	0.26	0	0.75	1.05
29	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.88	0.29	0	0.75	1.05
30	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.88	0.29	0	0.75	1.05
31	PQ	1.00	0	0.00	0.00	0.88	0.29	0	0.75	1.05

Fuente: R. Srinivasa Rao and S.V.L. Narasimham [15].

Cuadro N° 11: Datos de la red Radial de 31 Nodos.

Nodo I	Nodo J	r p.u.	x p.u.	yh/2 p.u.	tap
1	2	0.09633	0.32193	0.00000	0.000
2	3	0.04142	0.00223	0.00000	0.000
3	4	0.06588	0.06514	0.00000	0.000
4	5	0.22212	0.19308	0.00000	0.000
5	6	0.10454	0.09085	0.00000	0.000
6	7	0.31427	0.17703	0.00000	0.000
7	8	0.25529	0.14382	0.00000	0.000
8	9	0.25531	0.14382	0.00000	0.000
9	10	0.25064	0.14119	0.00000	0.000
10	11	0.25064	0.14119	0.00000	0.000
11	12	0.25064	0.14285	0.00000	0.000
12	13	0.25064	0.19752	0.00000	0.000
13	14	0.14285	0.08047	0.00000	0.000
14	15	0.29091	0.16388	0.00000	0.000
9	16	0.08983	0.07809	0.00000	0.000

Fuente: R. Srinivasa Rao and S.V.L. Narasimham [15].

Cuadro N° 12: Datos de la red Radial de 31 Nodos.

Nodo I	Nodo J	r p.u.	x p.u.	yh/2 p.u.	tap
16	17	0.13766	0.07754	0.00000	0.000
17	18	0.24675	0.13900	0.00000	0.000
7	19	0.09146	0.07951	0.00000	0.000
19	20	0.30053	0.26121	0.00000	0.000
20	21	0.29091	0.16388	0.00000	0.000
7	22	0.11433	0.09938	0.00000	0.000
4	23	0.10660	0.10539	0.00000	0.000
23	24	0.06488	0.06414	0.00000	0.000
24	25	0.10028	0.09412	0.00000	0.000
25	26	0.27603	0.23992	0.00000	0.000
26	27	0.20089	0.17461	0.00000	0.000
27	28	0.21766	0.16095	0.00000	0.000
2	29	0.08807	0.00424	0.00000	0.000
29	30	0.30909	0.17412	0.00000	0.000
30	31	0.21064	0.11866	0.00000	0.000

Fuente: R. Srinivasa Rao and S.V.L. Narasimham [15].

Cuadro N° 13: Datos de la red Radial de 31 Nodos.

Nodo	Optimal		AG		Diferencia v
	v pu	ang °	v pu	ang °	
1	1.0000	0	1.0000	0	0.00%
2	0.9636	-2.7531	0.9636	-2.7531	0.00%
3	0.9578	-2.6474	0.9578	-2.6474	0.00%
4	0.9458	-2.9811	0.9458	-2.9812	0.00%
5	0.9220	-3.5469	0.9220	-3.5472	0.00%
6	0.9122	-3.7872	0.9122	-3.7875	0.00%
7	0.8853	-4.0941	0.8853	-4.0947	0.00%
8	0.8696	-4.2774	0.8696	-4.2781	0.00%
9	0.8540	-4.4673	0.8540	-4.4682	0.00%
10	0.8439	-4.5900	0.8439	-4.5917	0.00%
11	0.8345	-4.7083	0.8345	-4.7093	0.00%
12	0.8063	-5.0766	0.8063	-5.0778	0.00%
13	0.7949	-5.2330	0.7949	-5.2342	0.00%
14	0.7916	-5.2782	0.7916	-5.2795	0.00%
15	0.7884	-5.3230	0.7884	-5.3242	0.00%

Fuente: R. Srinivasa Rao and S.V.L. Narasimham [15].

ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS

Cuadro N° 14: Resultados de la red Radial de 31 Nodos.

Nodo	Gpotensol		AG		Diferencia v
	v pu	ang °	v pu	ang °	
16	0.8519	-4.5244	0.8519	-4.5253	0.00%
17	0.8500	-4.5501	0.8500	-4.5510	0.00%
18	0.8483	-4.5716	0.8483	-4.5725	0.00%
19	0.8831	-4.1516	0.8831	-4.1522	0.00%
20	0.8780	-4.2905	0.8780	-4.2911	0.00%
21	0.8760	-4.3152	0.8760	-4.3158	0.00%
22	0.8849	-4.1034	0.8849	-4.1040	0.00%
23	0.9383	-3.2023	0.9383	-3.2023	0.00%
24	0.9342	-3.3240	0.9342	-3.3241	0.00%
25	0.9304	-3.4180	0.9304	-3.4181	0.00%
26	0.9209	-3.6611	0.9209	-3.6611	0.00%
27	0.9171	-3.7590	0.9171	-3.7591	0.00%
28	0.9147	-3.8069	0.9148	-3.8069	0.00%
29	0.9612	-2.7124	0.9612	-2.7124	0.00%
30	0.9544	-2.7908	0.9544	-2.7908	0.00%
31	0.9520	-2.8177	0.9520	-2.8177	0.00%

Fuente: Gpotensol – Método Geulate.

Cuadro N° 15: Resultados de la red Radial de 31 Nodos.

Gpotensol		AG	
SG MW	Pérdidas MW	SG MW	Pérdidas MW
16.393	1.390	16.393	1.390

Fuente: Gpotensol – Método Geulate.



*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR CON UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO Y DE CALENTAMIENTO DE AGUA

André Luiz Veiga Gimenes • Wagner Pereira Silvestre
Miguel Edgar Morales Udaeta • Renán Orellana Lafuente

RESUMEN. El presente artículo busca mostrar la viabilidad de la adopción de equipamiento híbrido, integrado por un sistema fotovoltaico con rendimiento superior y por un sistema térmico solar para el calentamiento de agua en viviendas.

Los sistemas fotovoltaicos y térmicos solares presentan potencial de implementación capaz de dar soluciones de generación distribuida de energía y la reducción de demanda en horarios de punta - mediante la sustitución parcial del uso de duchas eléctricas. El incremento de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos debido a su enfriamiento son obtenidos a través la integración de ese sistema con uno de calentamiento de agua, denominado sistema híbrido fotovoltaico/térmico solar.

PALABRAS-CLAVE: Generación Fotovoltaica, Calentamiento Solar, Sistemas Híbridos, Eficiencia Energética.

1. INTRODUCCIÓN

Diversos autores evidencian la ocurrencia de una significativa transformación de nuestro mundo, dada por la evolución tecnológica y la adopción progresiva de las denominadas energías renovables. De esas energías, por el desarrollo tecnológico alcanzado y aquel que aún se puede alcanzar, es grande el potencial e impacto positivo de la energía solar.

Los sistemas que viabilizan el uso de la energía solar de mayor aplicación, hasta este momento, son los sistemas fotovoltaicos, para generación de energía eléctrica, y los sistemas térmicos, para el calentamiento de aire y líquidos. La adopción individualizada de estos sistemas, en la situación actual, conlleva limitaciones tecnológicas y de costo que dificultan la masificación de sus usos. Los sistemas fotovoltaicos presentan limitaciones

en su desempeño que elevan el costo del kWh generado con relación a las alternativas de generación usuales (HOLLIK, 2010). Los sistemas térmicos solares, más difundidos, también presentan limitaciones tecnológicas y de costos directos e indirectos que dificultan su competitividad con las fuentes y usos convencionales, principalmente con las muy difundidas duchas eléctricas.

Los sistemas fotovoltaicos y los sistemas térmicos solares presentan potencial de implementación capaz de mitigar problemas crónicos del sector eléctrico de muchos países de Latinoamérica, como ser, la generación distribuida de energía y la reducción de la demanda en horarios de punta, mediante la sustitución parcial de las duchas eléctricas, especialmente en viviendas de bajos ingresos, contribuyendo al incremento de la calidad de vida, además de proporcionar otros beneficios, como la postergación de inversiones en los sistemas eléctricos y efectos socio ambientales positivos. Por lo expuesto, se considera estratégica la necesidad de desarrollo de tales tecnologías en el mercado latinoamericano.

A pesar de los diversos estímulos para la introducción a gran escala de las energías renovables, especialmente la energía solar, la efectiva implementación de equipos que funcionan con esa energía aún es incipiente en Brasil y Bolivia, más aún si se considera el potencial existente. Tanto los equipos térmicos solares para calentamiento de agua, como los paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica, tienen poca penetración en los mercados de ambos países y de Latinoamérica, especialmente debido a los costos elevados y los rendimientos, aspectos que restringen su adopción masiva.

Una de las posibilidades de optimización de estos dos tipos de sistemas está dada por la conjunción

de ambos en un solo equipo, híbrido fotovoltaico y térmico, que viabiliza la utilización del calor inherentemente absorbido en los sistemas fotovoltaicos en el proceso de generación de energía eléctrica para el calentamiento de agua (HOLLIK, 2010). Este sistema híbrido, además de la producción de dos tipos de energía - eléctrica y térmica -, a partir de un mismo dispositivo, que contribuye a la disipación de calor en el sistema fotovoltaico, proporcionándole mayor rendimiento, al mismo tiempo que produce energía térmica, con rendimiento próximo al de los sistemas térmicos solares independientes convencionales, en un mismo equipo de igual o menor espacio útil (RADZIEMSKA, 2009). Incluso en países donde hay mayor difusión de estas tecnologías, la búsqueda de equipos de mayor rendimiento fotovoltaico con el uso de la energía térmica residual, aún se constituye un desafío a superar. El equipo conjugado objeto de este trabajo, híbrido fotovoltaico y térmico, se encuentra en estado inicial de desarrollo, existen pocos proveedores en el exterior y algunas instalaciones piloto.

El sistema descrito en este artículo contribuirá a aproximar la investigación y desarrollo de estos tipos de tecnologías y equipos que vienen siendo desarrollados en centros avanzados y ofrecer una alternativa regional para la utilización de esta tecnología.

2. SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

2.1 CURVA TENSIÓN VS CORRIENTE I x V

Un sistema de generación solar fotovoltaica, o simplemente sistema fotovoltaico, está caracterizado en su desempeño energético, por su curva característica I x V (corriente de salida por tensión de salida). Según la NBR10899, la curva I x V está definida como la "representación de los valores de corriente de salida de un conversor fotovoltaico, en función de la tensión, para condiciones preestablecidas de temperatura y radiación" (PRIEB, 2002). La potencia generada por el sistema es obtenida como el producto de I x V punto a punto.

Para probar el sistema fotovoltaico, son producidos diferentes valores de radiación, manteniéndose la temperatura del panel fotovoltaico constante, son obtenidas diferentes curvas I x V para cada valor de radiación incidente, ver Figura 1.

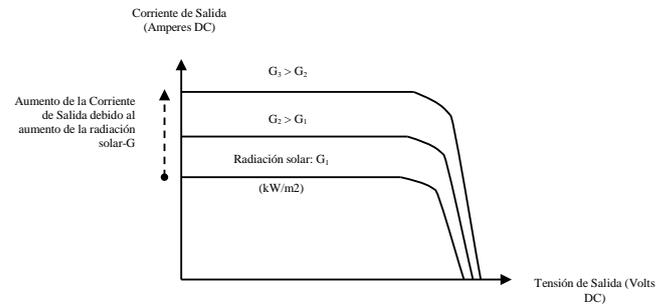


Figura 1: Curvas I x V para diferentes niveles de radiación a temperatura constante

2.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Según (Prieb, 2002), se observa una disminución de la tensión del panel fotovoltaico a medida que se aumenta la temperatura del panel. La tasa de variación de la tensión debido a la temperatura en paneles de silicio normalmente es $-2,2\text{mV}/^\circ\text{C}$. Esa reducción de la tensión implica una disminución proporcional de la potencia máxima de salida del sistema.

Según (Gonçalves, 1992) la tensión generada por una célula de silicio en su punto de máxima potencia es aproximadamente 0,45V a una temperatura de 28°C y varía logarítmicamente con la intensidad de la luz, con una reducción de $0,4\%/^\circ\text{C}$.

Pensando en un sistema que requiera alcanzar tensiones del orden de 12V, en el caso de los sistemas autónomos que se utilizan de baterías, serían necesarias 27 células de 0,45V para componer el sistema.

Pensando en una operación a 25°C sobre la temperatura ambiente, se observaría una reducción de la tensión del orden de 12,5% y serían necesarias 30 células para alcanzar la

misma tensión.

Con la posibilidad de conexión directa a la red de distribución, sistemas con tensiones mayores están siendo utilizados, incrementando las pérdidas debidas al aumento de la temperatura. Cuando se realiza el ensayo de desempeño en función de la temperatura de estos mismos sistemas, se construyen las curvas I x V para diferentes temperaturas a un mismo valor de radiación. Ver la Figura 2.

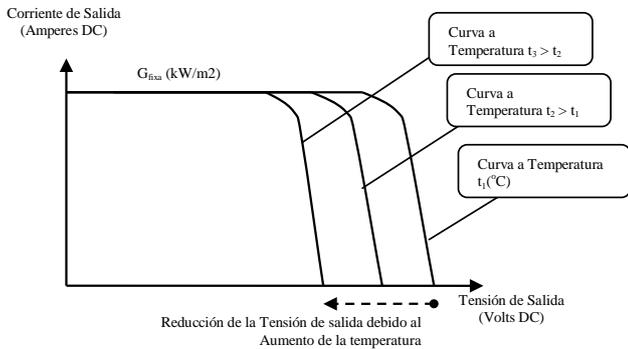
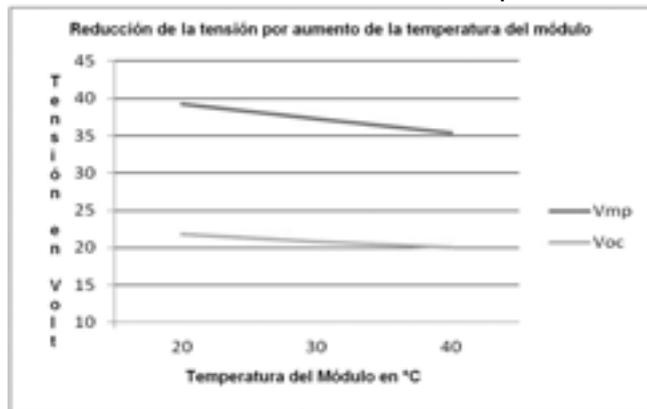


Figura 2: Reducción de la tensión de salida debido al aumento de temperatura

Para tensiones comerciales, el comportamiento de la tensión en función de la temperatura se



presenta en la Figura 3.

Figura 3: Comportamiento da tensión en función de la temperatura del panel (Adaptado de King Et Al, 1997. Donde: V_{oc} = tensión de circuito abierto y V_{mp} = Tensión de máxima potencia)

La combinación propuesta prevé reducir, por medio de sistema de la refrigeración, las pérdidas debido al aumento de la temperatura del panel fotovoltaico y la consecuente pérdida de potencia por disminución de la tensión.

3. SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA SUSTITUCIÓN DE DUCHAS ELÉCTRICAS

El calentamiento solar es una forma alternativa de utilización de energía natural, no contaminante y especialmente abundante en Latinoamérica debido a su posición geográfica. Además, el bajo nivel de nubosidad en períodos de invierno favorece el uso de energía solar en ese período del año, justamente cuando la necesidad de agua caliente es mayor. La instalación correcta de los colectores solares permite un adecuado calentamiento del agua para baño incluso en el invierno, cuando la radiación solar es menos intensa. De modo general, en el hemisferio sur los sistemas termosolares solares deben ser orientados hacia el norte, con inclinación igual a su latitud más diez grados de forma incrementar el calentamiento en el invierno.

Los valores de radiación, o incidencia solar horaria en Watt hora por metro cuadrado (Wh/m^2), a partir de los cuales es posible estimar la energía térmica aprovechable, para efectos del diseño, pueden ser obtenidos mediante la utilización de herramientas computacionales. (GIMENES, 2006).

La utilización de sistemas de calentamiento solar permite la sustitución total o parcial de duchas eléctricas. La solución total se da cuando el sistema cuenta con calentamiento eléctrico suplementario en el termotanque. La solución parcial ocurre cuando se utiliza una ducha con control dinámico de temperatura para complementar la energía térmica necesaria.

La tecnología de calentamiento solar es plenamente conocida y consolidada, normalmente son utilizadas placas metálicas dotadas de ductos de paso del agua que es movida por termosifón, que permite la circulación del agua desde los colectores hasta el termotanque sin necesidad de auxilio para el bombeo (SOCIEDADE DO SOL, 2012). Los sistemas de calentamiento solar requieren, por tanto, la instalación de reservorios aislados

para el almacenamiento de agua caliente. En promedio, para una vivienda común son utilizados termotanques de 200 litros. En el caso del sistema presentado en esta oportunidad, el sistema de calentamiento de agua actuará, como un sistema de refrigeración de los paneles solares fotovoltaicos.

4. SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO/ TÉRMICO

La presente propuesta plantea la utilización de los paneles fotovoltaicos acoplados a un sistema de enfriamiento con agua.

En este sistema, los paneles fotovoltaicos son utilizados sin alteraciones estructurales o físicas con relación a su configuración original. Sin embargo, en su parte inferior está acoplado un sistema de refrigeración a agua por termosifón, donde el calor de los paneles solares será absorbido por las placas colectoras y transferido a fluido en circulación, en este caso al agua. En un sistema de refrigeración común, ese calor sería disipado en un intercambiador de calor con el ambiente.

En el caso de la propuesta abordada en este trabajo, que utiliza comercialmente la energía térmica del agua de enfriamiento, esta será almacenada en un termotanque. Aunque este sistema de refrigeración tenga un desempeño inferior al sistema con disipación de calor, esta utilización es muy semejante a los sistemas consolidados de calentamiento solar de agua y se espera que tenga un rendimiento térmico semejante a estos.

La gran ventaja del sistema híbrido reside justamente en la asociación de un sistema plenamente consolidado comercialmente como una forma de apoyar a la energía fotovoltaica, que tendría su rendimiento incrementado. Como se mencionó, estudios indican la posibilidad de ganancias de rendimiento en paneles fotovoltaicos con refrigeración.

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos es medida en condiciones de laboratorio, a 25

grados Celsius. Como los paneles operan entre 55 y 75 grados Celsius, el rendimiento nominal de los paneles puede ser reducido de 12 a 25% con relación al rendimiento nominal. De esta forma, el equipo híbrido podría reducir en aproximadamente 12% a 25% el costo del kWp efectivamente implantado, además del aprovechamiento de la energía térmica inherente para el calentamiento del agua.

4.1 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA SOLAR HÍBRIDO FOTOVOLTAICO/TÉRMICO - SHFT

En la perspectiva de desarrollar un producto con las características mencionadas anteriormente, se espera utilizar recursos disponibles para Investigación y Desarrollo, disponibles en la mayoría de los países.

Aún existen pocos casos de implementación en el mundo de sistemas de este tipo, por ello se torna necesario verificar el desempeño de sistemas de este tipo, fabricado con costos razonables para su aplicación en el marco de Programas de Eficiencia Energética. Para tanto, es importante:

- Desarrollar equipos híbridos fotovoltaico y térmico para calentamiento de agua y generación de electricidad con energía solar;
- Reducir el costo relativo de sistemas fotovoltaicos mediante el incremento de su rendimiento, proporcionando un costo menor por kWh disponible;
- Permitir la reducción de demanda y el consumo de energía eléctrica en el horario de punta del sistema mediante la adopción de equipos híbridos como sustituto a la ducha eléctrica;
- Permitir la reducción de pérdidas no técnicas, mediante la reducción del consumo en unidades consumidoras con dificultades de pago, con la adopción del equipo híbrido fotovoltaico y térmico propuesto.

Se esperan como posibles desdoblamientos esperados con el éxito de este desarrollo la adopción a gran escala, del sistema, en viviendas

residenciales de bajos ingresos, mediante la utilización de recursos de los Programas de Eficiencia energética.

Para el desarrollo del sistema se propone la siguiente metodología:

- Desarrollo de la propuesta de configuración del Sistema Experimental más adecuado en función de las aplicaciones procuradas.
- Realización de estudios del estado del arte de los sistemas Térmicos Solares para calentamiento de agua y fotovoltaicos, de modo dirigido, buscando la mejor compatibilidad de configuraciones de estos sistemas con la propuesta de configuración definida para el Sistema Experimental.
- Desarrollo de la propuesta de configuración pasible de construcción. Un Sistema Experimental estará compuesto por un panel fotovoltaico acoplado térmicamente a paneles de calentamiento de agua por energía solar, constituyendo un sistema híbrido.
- Desarrollo de la propuesta de configuración para la construcción de 3 prototipos con especificidades distintas, para construcción y análisis de desempeño comparado para la definición del más adecuado.
- Montaje de 3 prototipos del Sistema Experimental. Montaje de los sistemas de control: 1 Sistema Térmico para Calentamiento de agua y 1 Sistema Fotovoltaico.
- Realización de pruebas, ensayos y análisis comparativo de desempeño de los sistemas de control de los 3 prototipos de características distintas al Sistema Experimental, por parte de un laboratorio certificado.
- Análisis de resultados. Los resultados serán analizados respecto a su desempeño energético y su viabilidad técnica y económica.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA SOLAR HÍBRIDO FOTOVOLTAICO TÉRMICO - SHFT

El sistema propuesto está compuesto por diferentes elementos como se muestra en el

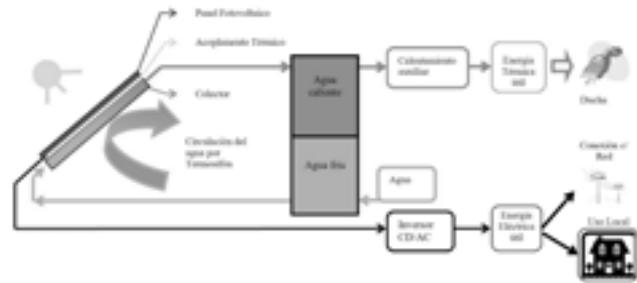


diagrama de la figura 4.

Figura 4: Topología del Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico/Térmico - SHFT

a) Sistema de Generación Fotovoltaica

- Paneles fotovoltaicos. Se trata de un módulo físico de generación fotovoltaica sin alteraciones en su diseño y constitución en relación al originalmente encontrado en el mercado;
- Inversor. Los inversores son equipos comúnmente encontrados en el mercado y que permiten la conexión de la generación fotovoltaica, p.e. 48VDC, con la red secundaria de la empresa distribuidora, p.e. 220 VAC.
- Medidor. Pensando en la evaluación de la posibilidad de venta de excedentes a la red y en discusiones sobre la regulación al respecto, se contará con un sistema de medición en el límite de la generación fotovoltaica con la red.

b) Sistema Térmico de Calentamiento de Agua

El sistema térmico instalado en contacto con los paneles fotovoltaicos estará compuesto por:

- Ductos metálicos de agua, que será circulada a través del principio de termosifón;
- Presencia o no de placas metálicas entre ductos;
- Presencia o no de material especial para acoplamiento térmico en la interface entre el sistema fotovoltaico y el sistema térmico;
- Termotanque para el almacenamiento de agua caliente.

El sistema será compuesto de un colector solar térmico y el respectivo termotanque, acoplado térmicamente al panel solar fotovoltaico de tamaño idéntico al colector térmico. Las capacidades inicialmente identificadas son:

- Colector: 2 m²;
- Paneles fotovoltaicos: 2 m²;
- Termotanque: 200 l.

5. METODOLOGIA DE ENSAYO CON EL SISTEMA PILOTO

5.1 ENSAYOS EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Los ensayos propuestos tienen por objetivo evaluar cuantitativamente la eficiencia energética de un sistema híbrido solar térmico-fotovoltaico.

Se propone el ensayo de 3 prototipos operando bajo el mismo principio y de las mismas dimensiones, pero con características constructivas diferentes en lo que respecta al acoplamiento térmico entre los sistemas solar fotovoltaico y térmico. Para la evaluación comparativa de desempeño de estos 3 prototipos, serán evaluados 2 sistemas de control no acoplados: 1 solar fotovoltaico y 1 solar térmico. Los ensayos del sistema fotovoltaico de control serán realizados mediante el levantamiento de las 2 curvas descritas en el punto 2.0; Curvas I x V (tensión de salida por corriente de salida) y V x T (tensión de salida por temperatura del panel). El ensayo de sistemas solares térmicos es más simple y consiste básicamente en la evaluación de la diferencia de temperatura entre el agua de entrada y de salida para diferentes valores de radiación solar a una temperatura ambiente dada.

5.1.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LOS ENSAYOS PARA EL SISTEMA HÍBRIDO

Como el sistema híbrido a ser evaluado es un intermedio de los 2 sistemas de control y se busca una comparación con sistemas separados y no con otro híbrido, se propone una flexibilización de los ensayos del sistema fotovoltaico. Por tanto, a una temperatura ambiente controlada, serán aplicadas una serie de valores de radiación solar sobre el panel fotovoltaico y, al revés de

mantenerlo a la temperatura controlada, la curva I x V será levantada después que el panel alcance la temperatura de equilibrio para cada radiación solar G. De esa forma, se espera que el ensayo quede más próximo del que ocurriera en el campo y, de esta forma, se preste para el fin de comparación con el sistema fotovoltaico de control.

En términos del panel colector térmico ese ya es el procedimiento patrón y esa acción no representa cambios en relación a los ensayos usuales.

Por tanto, para la realización de los ensayos comparativos se propone:

Sistema de Control:

- Solar térmico: levantamiento del desempeño mediante ensayo a diferentes valores de radiación solar, a temperatura ambiente controlada;
- Solar fotovoltaico: levantamiento del desempeño mediante ensayo a diferentes valores de radiación solar, por ello el levantamiento de las curvas V x I realizado después que la placa alcance el equilibrio térmico (T_{placa} no controlada), a la temperatura ambiente controlada.

Sistema Híbrido, 3 prototipos:

- SHFT: Levantamiento conjunto de desempeño fotovoltaico y térmico para las mismas variaciones de radiación solar del ensayo de los elementos de control y en las mismas condiciones.

Una visión general de los parámetros variables y fijos de la metodología propuesta de ensayo es presentada a continuación, ver Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros de Ensayo

Sistema Solar	Ensayos	Parámetros					
		Variables			Fijos		
FV	Radiación x I x V	G	I	V	T_{placa}	T_{amb}	
	Temperatura x I x V		I	V	T_{placa}	T_{amb}	G
Térmico	Desempeño Térmico	G	T_{salida}		T_{placa}	T_{amb}	Vz $T_{entrada}$
Termo-FV	Desempeño Térmico	G	T_{salida}		T_{placa}	T_{amb}	Vz $T_{entrada}$
	Radiación x I x V	G	I	V	T_{placa}	T_{amb}	
	Temperatura x I x V		I	V	T_{placa}	T_{amb}	G

- I: Corriente de salida del panel fotovoltaico en Amperios;
 G: Radiación Solar en kW/m²;
 T_{entrada} : Temperatura del agua de entrada del calentador solar;
 Vz: Caudal de agua en el sistema de calentamiento solar en l/min;

Donde:

- V: Tensión de salida del panel fotovoltaico en Volts;
 T_{salida} : Temperatura del agua de salida del calentador solar;
 T_{amb} : Temperatura ambiente;
 T_{placa} : Temperatura del panel solar en grados Celsius.

* Se nota que una variable importe en este caso es la temperatura ambiente. Una opción de enfriamiento de los ensayos podría incluir la repetición de los mismos en función de esta variable.

5.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Como resultado final de los ensayos con los prototipos y los sistemas de control se espera la comparación de rendimientos (con evaluación de los errores de medición) de forma que puedan ser comparados en términos porcentuales.

Después de los ensayos se podría realizar una implantación piloto de los sistemas probados en laboratorio, en viviendas. Con esa instalación se pretende medir el desempeño de los sistemas respecto a los rendimientos, facilidades de instalación, operación y mantenimiento.

Se espera evaluar la viabilidad del sistema con una Relación Costo Beneficio - RCB de hasta 0,8 (ANEEL, 2008).

6. VIABILIDADE ECONOMICA

De forma preliminar a los desarrollos previstos, se pueden estimar algunos de los beneficios económicos de la implantación de un sistema con tales características. Con potencial de implantación a gran escala, este sistema impacta

en el mercado, debido a la reducción del costo de generación, y por minimizar pérdidas comerciales en viviendas, como sustituto de las duchas eléctricas.

Se puede destacar también el hecho de algunas distribuidoras de energía usen recursos de Eficiencia Energética en proyectos de calentamiento solar de agua para consumidores de conjuntos habitacionales de bajos ingresos, reduciendo gastos en estas instalaciones. Tales proyectos trabajan con colectores solares con termotanques colectivos o individuales en sustitución/complementación de la ducha eléctrica.

Proyectos de esta naturaleza, en actual ejecución, presentan una relación Costo Beneficio (RCB) menores a 0,7. Según la metodología establecida para la evaluación de viabilidad de proyectos de Eficiencia Energética, el proyecto sería viable con RCB de hasta 0,8, denotando gran margen de viabilidad técnica y económica. En este contexto, se visualiza la posibilidad de fomento a la utilización de energías renovables mediante la introducción de generación eléctrica fotovoltaica para atención de cargas en tales consumidores, con o sin conexión a la red para venta de excedentes.

Conforme se ha mencionado, el sistema propuesto pretende ofrecer una alternativa tecnológica de integración entre los dos sistemas, el fotovoltaico y el de calentamiento de agua, con lo que se podría obtener ganancias de rendimiento del orden de 12% a 25%, debido al enfriamiento de los paneles fotovoltaicos.

7. CONCLUSIONES

La implementación de programas de Eficiencia Energética entre los cuales se incluyen proyectos de calentamiento solar de agua, en consumidores de bajos ingresos, es cada vez más común. Estos proyectos usan colectores solares con termotanques colectivos o individuales para calentamiento de agua en sustitución/complementación a la ducha eléctrica, con la utilización del sistema aquí propuesto tales

proyectos pueden tornarse en elementos inductores de sistemas de generación fotovoltaica.

Además de estos consumidores, el sistema se presta para la aplicación en instalaciones que utilizan agua caliente y electricidad como ser: - edificios de servicios públicos (escuelas, puestos de salud y hospitales, etc.), además de gran potencial de inserción del equipo en edificios multifamiliares.

La semejanza de las condiciones de implementación permite la adopción de los equipos en todo el sistema interconectado nacional, en la perspectiva de la reducción del consumo y demanda de energía eléctrica en horario de punta del sistema, además de la posibilidad de su aplicación para la atención de unidades aisladas como recurso de micro generación de energía eléctrica y térmica. El equipo apoya a las distribuidoras en la mejora de la atención de sus usuarios mediante la oferta de productos diferenciados, promoviendo la reducción de la demanda de punta y consumo de energía eléctrica y la consecuente postergación de inversiones en el sistema de distribución.

REFERENCIAS

- [1]. ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica - "Manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética" - 2008. Aprovado pela Resolução Normativa nº 300, de 12/02/2008.
- [2]. CHARALAMBOUS, P.G., KALOGIROU S.A., MAIDMENT, G., KARAYIANNIS, T.G.; "Photovoltaic thermal (pv/t) collectors: a review "; HPC 2004 - 3rd International Conference on Heat Powered Cycles, Cyprus, October 2004.
- [3]. GIMENES, A. L. V.; SAIDEL, M. A. ; FUJJI, R. J. ; MOREIRA, J. R. S.. Implementação de um Sistema Solar de Grande Porte para Pré-Aquecimento de Água. In: Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ - XII ERIAC, 2007. Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ - XII ERIAC, 2007.
- [4]. Gimenes, A. L. V.; Saidel, M. A., Morales, C., Ladeira, R. Ferramenta Computacional

para Previsão de Curva de Carga a partir da Previsão de Temperatura Ambiente. CIDEL 2006 – International Congress on Electricity Distribution, Buenos Aires. 2006.

- [5]. GONÇALVES, S. W.; " Comparação entre Métodos de Dimensionamento de sistemas Fotovoltaicos Autônomos por simulação", Dissertação para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia, UFERGS, Fevereiro de 1992.
- [6]. HOLLIK, V. "Hybrid PV/Thermal: The Next Solar Frontier", Renewable Energy World, Nov-Dez, Vol 12, number 6, 2009.
- [7]. KING D. L., KRATOCHVIL J. A.; BOYSON, W. E. Temperature Coefficients for PV Modules and Arrays: Measurement Methods, Difficulties, and Results, Presented at the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 29- October 3, 1997, Anaheim, California
- [8]. PRIEB, C. W. M.; Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos; Dissertação para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia, UFERGS, Junho de 2002.
- [9]. RADZIEMSKA, Ewa; "Integrated system performance analysis of a photovoltaic-thermal"; Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy, Volume 2009, Article ID 732093, 6 pages doi:10.1155/2009/732093, 21 April 2009.
- [10]. SOCIEDADE DO SOL, textos diversos; <http://www.sociedadedosol.org.br/>



tecnoeléctrica s.a.
tecnología eléctrica y mecánica s.a.

*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

EL SIMULINK COMO HERRAMIENTA EN EL ANALISIS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Ing. Rogelio Choque Castro

RESUMEN. "Estabilidad de Sistemas de Potencia" es un término que se aplica a sistemas de potencia en corriente alterna e implica la capacidad que tienen las máquinas generadoras de permanecer en sincronismo, luego de ocurrido algún evento en el sistema (falla, cambio en las cargas, operaciones de conmutación, etcétera). Un análisis de estabilidad implica la solución de un conjunto de ecuaciones algebraico-diferencial que permita trazar principalmente los ángulos de rotor de cada máquina. En el presente caso, a diferencia de anterior artículo /5/, se hace el uso de una herramienta con interface gráfica como es el SIMULINK de MATLAB.

PALABRAS CLAVE. MATLAB, SIMULINK, Estabilidad Transitoria, Simulación de Transitorios, Modelado de sistemas de potencia.

INTRODUCCION.

La estabilidad de sistemas de potencia fue y continúa siendo un aspecto de gran interés en operación de sistemas. Los sistemas de potencia modernos son grandes en tamaño con un alto grado de complejidad, empleando unidades generadoras de gran tamaño, líneas de extra alta tensión, etcétera. Como se sabe, la estabilidad transitoria es la habilidad de un sistema de potencia de mantener el sincronismo cuando es sometido a un disturbio tal como una falla en las instalaciones de transmisión, pérdida de generación, pérdida de carga, etcétera. La respuesta del sistema a tales disturbios implica oscilación en los ángulos de rotor de cada máquina, flujos de potencia en líneas y transformadores, cambios transitorios en los niveles de tensión de las barras y otros cambios en las variables del sistema.

A nivel académico, resulta práctico emplear el modelo clásico de una máquina durante un período de análisis lo suficientemente grande en el cual se pueda apreciar la influencia de las

energías cinéticas almacenadas en las masas rotantes sobre las variables del sistema. El sistema clásico de tres máquinas y 9 barras es el modelo mas sencillo y ampliamente empleado para estudios a nivel de estabilidad pues requiere una mínima cantidad de datos.

Si las respuestas oscilatorias del sistema de potencia durante un período transitorio después de un disturbio se amortiguan y el sistema se mantiene en una nueva condición de operación, decimos que el sistema es estable. Si el sistema no es estable, decimos que es inestable.

RESUMEN DE LOS PROCESOS TRANSITORIOS.

Un proceso transitorio es aquel donde las variables que definen al sistema cambian de un estado inicial a otro final. En un sistema de potencia, estos procesos se dan como consecuencia de un cambio en las condiciones de operación o de la configuración del sistema provocadas por ejemplo mediante: maniobras, fallas, variaciones en la demanda o bien descargas atmosféricas. Estos fenómenos pueden producir sobretensiones, sobrecorrientes así como también formas de onda anormales.

Si se observa al Sistema de Potencia como un conjunto de aparataje eléctrica, el proceso transitorio puede ser electromagnético o electromecánico. Un proceso transitorio electromagnético involucra predominantemente a las interacciones entre campos magnéticos en inductancias y campos eléctricos en inductores. Un proceso transitorio electromecánico es aquel que involucra interacciones entre la energía mecánica almacenada en la maquinaria rotativa y la energía eléctrica almacenada en la red. Los procesos transitorios electromagnéticos ocurren en una escala de tiempo que va desde los microsegundos hasta algunos ciclos, donde se presentan fenómenos como ser: ondas viajeras en líneas, cables y

barras, oscilaciones en circuitos de elementos concentrados de generadores, transformadores y otros dispositivos. Los estudios de Estabilidad transitoria ocupan un lugar intermedio entre los procesos electromagnéticos y electromecánicos. Una idea del rango de tiempo que implican estos transitorios, lo muestra la figura 1 /2/.

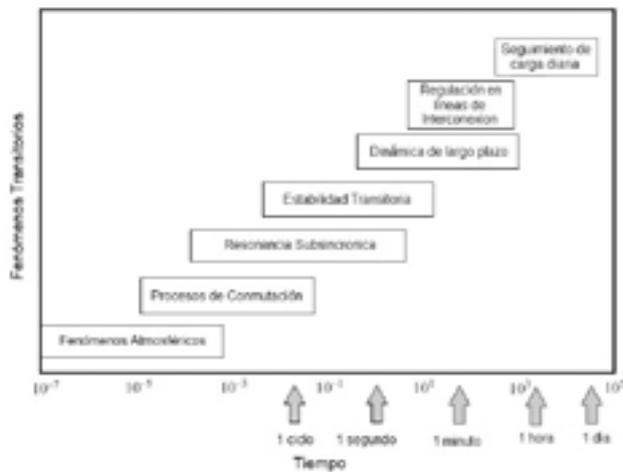


Figura 1. Rangos de tiempo en los que se presentan fenómenos transitorios

Un análisis de procesos transitorios permite resolver varios problemas, entre los cuales se encuentran: coordinación de equipos de protección, dimensionamiento de equipos de protección, determinación de formas de onda anormales en condiciones de mala operación de equipos, etcétera.

Por su importancia se debe recalcar que la Estabilidad en Sistemas de Potencia está relacionada con el comportamiento de las máquinas sincrónicas en dicho sistema, luego de que éste fue perturbado. Por perturbación se entiende alguna alteración en el desarrollo normal de la transferencia de energía en el sistema de potencia, como por ejemplo: variaciones de carga, cortocircuito en una de las líneas, operaciones de apertura o cierre de equipos de maniobra, etcétera.

EL ENTORNO SIMULINK.

Simulink es un entorno de desarrollo interactivo para el modelado, análisis, y simulación de procesos dinámicos con aplicación en diversas

áreas de la ingeniería y la investigación. Simulink es un software avanzado que posee una interface gráfica a partir de la cual se puede construir modelos y su uso se fue incrementando las últimas décadas. A partir de algunas versiones atrás se ha incrementado el gran potencial que posee este software en la solución de problemas relacionados a los sistemas de potencia como se verá mas tarde con los ejemplos ilustrativos que acompañan al presente.

Las principales características de SIMULINK son:

- Los sistemas se representan como una interconexión de bloques elementales,
- Cada bloque lleva asociado un modelo matemático que representa su relación entrada-salida,
- Simulaciones Interactivas con salidas gráficas en línea,
- Bloques de librerías comprensivas para la creación de sistemas lineales, no lineales, discretos, híbridos, multientradas, multisalidas, etcétera.
- Varios métodos de integración de paso fijo o variable y sistemas rígidos.
- Estructura de modelos jerárquicos prácticamente ilimitados,
- Conexiones escalares y vectoriales,
- Máscaras que facilitan la creación de bloques y librerías de bloques.

SIMULINK tiene desarrollado el Power System Blockset (PSB), el cual posee muchos bloques apropiados para su aplicación en Sistemas de Potencia y particularmente en análisis de estabilidad transitoria; estos bloques son por ejemplo: modelos en tres fases de máquinas generadoras, motores, controles, máquinas eléctricas, Sistemas de excitación, Turbinas, Gobernadores, etcétera.

ALGUNOS EJEMPLOS DE ILUSTRACION.

Generador conectado a barra infinita /1/.

El sistema de la figura 2 consiste de un generador síncrono de rotor liso. La frecuencia del sistema es 60 Hz, H=5 MJ/MVA, la reactancia transitoria de

eje directo $x'_d = 0.3$ p.u. El generador va conectado a barra infinita a través de un transformador y dos líneas en paralelo; todas las reactancias están en la misma base.

El generador entrega a la barra infinita una potencia activa de 0.8 p.u. y una reactiva de 0.074 p.u.. Se quiere construir un modelo SIMULINK que permita un periodo de simulación de 1.1 s, la falla consiste en que la línea 2 entra en cortocircuito trifásico a media línea en el instante 0.1 s, permaneciendo en ese estado durante los siguientes 0.3 s donde la falla es liberada por interruptores en ambos extremos de dicha línea. Hallar el ángulo crítico de despeje.

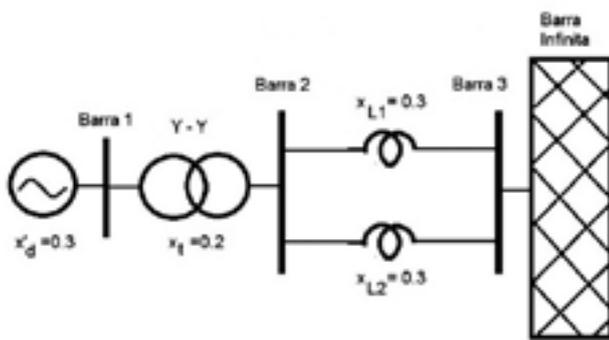


Figura 2. Máquina conectada a Barra Infinita

Recordemos que la Potencia eléctrica entregada por un generador con una tensión interna de $\bar{E} = E \angle \delta$ y conectada a través de una reactancia x a una fuente $\bar{V} = V \angle 0$ viene dada por:

$$P = \frac{E * V}{x} \sin(\delta) = P_{max} \sin(\delta) \quad (1)$$

Primero determinamos la corriente que inyectamos a la barra infinita:

$$I = \frac{\bar{S}^*}{\bar{V}^*} = \frac{0.8 - 0.074j}{1.0 \angle 0} = 0.8 - 0.074j$$

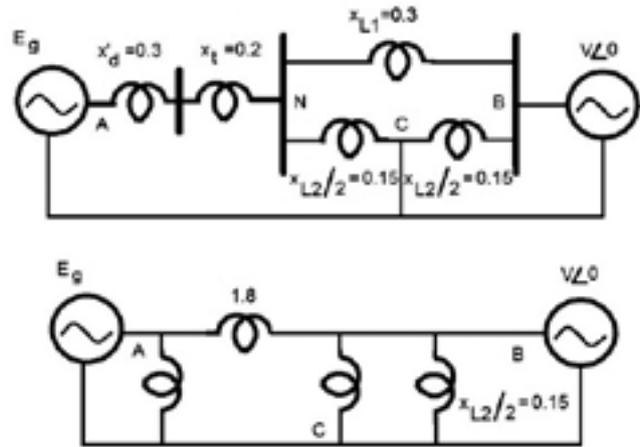


Figura 3. Circuitos equivalentes

Entonces de acuerdo a la figura 3 el diagrama de impedancias indica que antes de la falla, la reactancia es:

$$x_{prefalla} = x'_d + x_t + (x_{L1} \parallel x_{L2}) = 0.3 + 0.2 + \frac{0.3}{2} = 0.65$$

Luego la tensión interna del generador vale:

$$\bar{E} = \bar{V} + jx_{pre} \bar{I} = 1 \angle 0 + j(0.65)(0.8 - 0.074j) = 1.1706 \angle 26.3735$$

Para encontrar la reactancia equivalente durante la falla, se empleará la figura 3 en la que la estrella formada por las impedancias entre ABCN, debe ser transformada a una conexión equivalente en triángulo:

$$x_{falla} = (x'_d + x_t) + x_{L1} + \frac{(x'_d + x_t)(x_{L1})}{x_{L2}/2} = 0.5 + 0.3 + \frac{(0.5)(0.3)}{0.15} = 1.8$$

No es necesario calcular las otras reactancias pues están en paralelo con fuentes de tensión constante del lado del generador como del lado de la barra infinita y no tienen efecto sobre la potencia de éstas fuentes.

La reactancia posterior a la falla será aquella que considere solo a la línea 1, por lo tanto:

$$x_{postfalla} = x'_d + x_t + x_{L1} = 0.3 + 0.2 + 0.3 = 0.8$$

La potencia entregada por el generador antes de la perturbación es:

$$P_{prefalla} = \frac{E * V}{x_{prefalla}} \sin(\delta) = \frac{(1.1706)(1)}{0.65} \sin(\delta) = 1.801 \sin(\delta)$$

Durante falla:

$$P_{falla} = \frac{E * V}{x_{falla}} \sin(\delta) = \frac{(1.1706)(1)}{1.801} \sin(\delta) = 0.65 \sin(\delta)$$

Posterior a la falla:

$$P_{postfalla} = \frac{E * V}{x_{postfalla}} \sin(\delta) = \frac{(1.1706)(1)}{0.8} \sin(\delta) = 1.463 \sin(\delta)$$

La ecuación de estado puede ser descrita por las ecuaciones (constante de amortiguación cero):

$$\begin{bmatrix} \frac{d\delta}{dt} \\ \frac{d\Delta\omega}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\omega \\ \frac{\pi f_0}{H} (P_m - P_e) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde δ es el ángulo del rotor medido con respecto a un sistema de referencia sincronamente rotando. $\Delta\omega$ es la variación de velocidad del rotor respecto a una velocidad de referencia sincrónica ($\Delta\omega = \omega - \omega_0 = \omega - 2\pi f_0$, donde f_0 es la frecuencia del sistema). P_m es la potencia mecánica que acciona al generador y P_e es la potencia eléctrica desarrollada por el generador.

La figura 4 muestra el esquema elaborado en SIMULINK, donde el período de análisis (1.1 segundos) y el método de integración deben ser ajustados en la pestaña Simulation/Configuration Parameters.

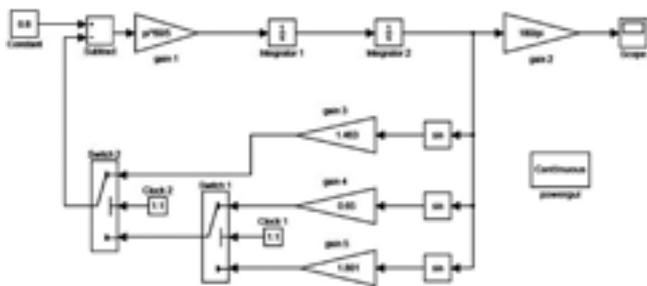


Figura 4. Modelo en Simulink del sistema en estudio

Dicha figura emplea los bloques y parámetros que señala el cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros del modelo simulink			
BLOQUE	FUNCION	PARAMETRO	AJUSTE
Gain 1	Constante $\frac{\pi f_0}{H}$	Gain	$\frac{\pi * 60}{5}$
Gain 2	Convierte radianes a grados	Gain	180
Gain 3	Potencia máxima transferida cuando la falla está liberada	Gain	1.463
Gain 4	Potencia máxima transferida durante falla	Gain	0.65
Gain 5	Potencia máxima transferida antes de que ocurra la falla	Gain	1.801
Integrator 1	Encontrar la variación de la velocidad del rotor	Initial condition	0
Integrator 2	Encontrar el ángulo del rotor	Initial condition	0.46055
Constant	Potencia mecánica aplicada al generador	Constant value	0.8
Subtract	Determina la potencia acelerante: $P_a = P_m - P_e$	List of signs	+-
Switch 1	Conmutar a los 0.1 segundos de condición prefalla a falla	Threshold	0.1
Switch 2	Conmutar a los 0.4 segundos de condición falla a postfalla	Threshold	0.4
Clock 1	Acciona el switch 1 según el tiempo de simulación	----	----
Clock 2	Acciona el switch 2 según el tiempo de simulación	----	----
sin	Trigonometric function, que saca el seno del ángulo del rotor	----	----

Para las condiciones de tiempo de despeje de 0.3 segundos, el trazo del ángulo es el que se muestra en la figura 5. MATLAB posee varias opciones para poder visualizar los trazos de alguna simulación; sin embargo en el ícono de parámetros de "Scope", se puede encontrar la pestaña "Data History" en la que habilitando la opción "Save Data to Workspace" podremos llevar los datos de la simulación al Workspace en varios formatos.

Por ejemplo con el formato "Array" se puede recuperar en el Workspace los datos de la simulación y graficarlos de una forma mas personalizada con otro programa por ejemplo Excel; la figura 6 muestra el mismo trazo pero elaborado con Excel.

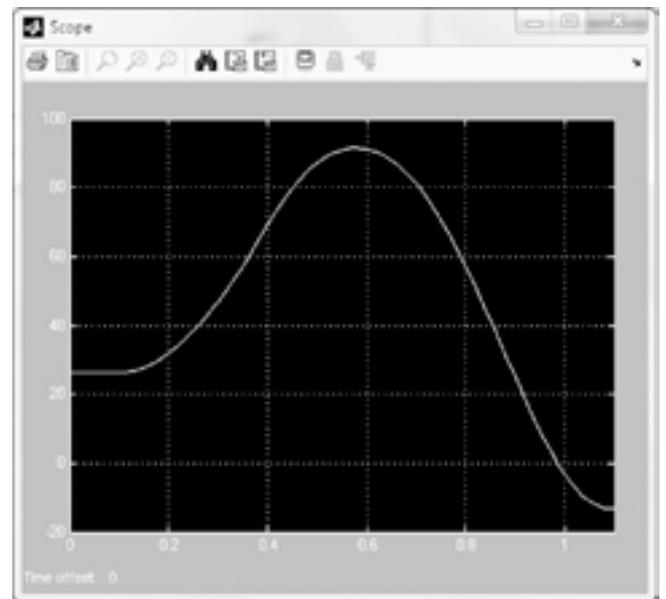


Figura 5. Ventana del osciloscopio

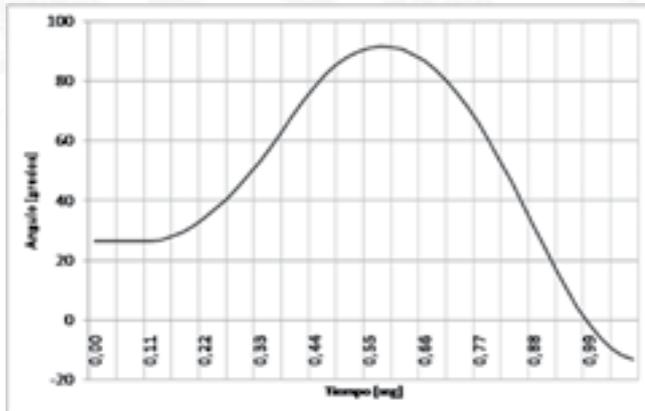


Figura 6. Trazo graficado en excel

Para encontrar el tiempo crítico de despeje, se procede a variar el parámetro "Threshold" del switch 2 a valores tales como 0.45, 0.5, 0.55. La figura 7 muestra que como el ángulo va creciendo indefinidamente después de Thr=0.5, el tiempo crítico de despeje de falla será $0.5 - 0.1 = 0.4$ segundos. Se deja al lector probar con valores intermedios.

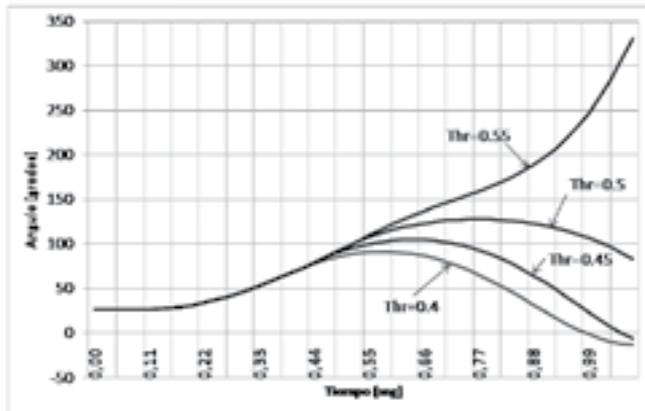


Figura 7. Curvas para varios tiempos de despeje de falla.

El Sistema tradicional de prueba con nueve barras de la WSCC.

En las referencias /3/, /4/, se pueden encontrar el clásico diagrama unifilar para estudios de estabilidad correspondiente al sistema de nueve barras de la Western Systems Coordinating Council (WSCC). Si bien se elaboraron modelos más complejos para los generadores, en el presente caso solo se considerará el modelo tradicional de la máquina que implica una fuente de tensión detrás de una reactancia transitoria sobre eje directo además de la correspondiente

ecuación de oscilación. La figura 8 muestra el diagrama unifilar, donde todas las impedancias están en p.u. a una potencia base de 100 MVA.

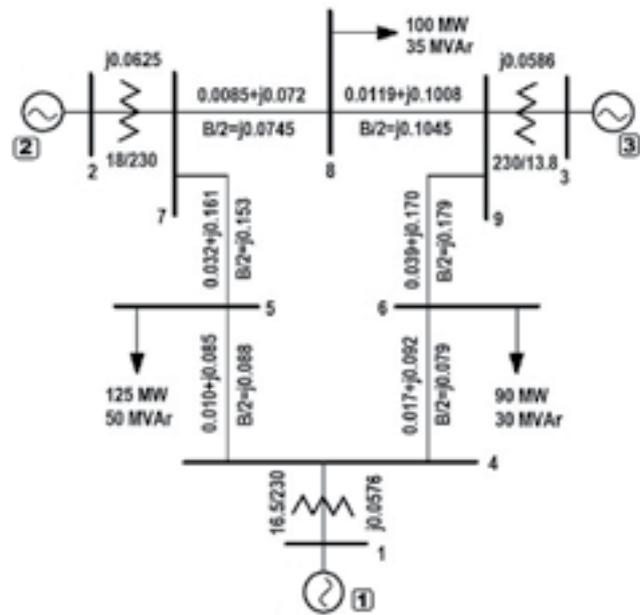


Figura 8. El sistema clásico de la WSCC.

Los datos de los generadores, que son los componentes activos de este sistema, los podemos encontrar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Datos de los generadores			
Generador N°	1	2	3
Potencia nominal kVA	247.5	192.0	128.0
Tensión kVA	16.5	18.0	13.8
Constante H [s]	23.64	6.4	3.01
X'_d	0.0608	0.1198	0.1813

Las admitancias shunt equivalentes para las cargas en p.u. a una potencia base de 100 MVA son:

Carga A: y_5	1.2610-j0.5044
Carga B: y_6	0.8777-j0.2926
Carga C: y_8	0.9690-j0.3391

Los componentes pasivos de este sistema comprende la red eléctrica que interconecta a las componentes activas. Desde el punto de vista analítico, esa red puede ser modelada mediante:

$$\vec{I} = Y_{BUS} \vec{E} \quad (3)$$

Donde Y_{BUS} es la matriz de admitancias cuyas componentes diagonales son la suma de

admitancias que convergen a un determinado nodo y cuyas componentes complementarias son el opuesto de las admitancias entre dos nodos contiguos.

La potencia eléctrica inyectada por cada máquina a la red está dada por:

$$P_{ei} = E_i^2 G_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_i E_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

Donde Y_{ij} es la magnitud del número complejo \vec{Y}_{ij} , θ_{ij} es el ángulo del número complejo \vec{Y}_{ij} , E_i es la magnitud de la tensión compleja de cada máquina \vec{E}_i , δ_i representa a los ángulos de rotor en cada máquina medidos respecto a una referencia rotante sincrónicamente.

Añadiendo las ecuaciones de movimiento a la anterior ecuación (4), tendremos que:

$$\frac{2H_i}{\omega_R} \frac{d\omega_i}{dt} + D_i \omega_i = P_{mi} - E_i^2 G_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_i E_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5a)$$

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \omega_i - \omega_R \quad (5b)$$

En estas últimas ecuaciones, P_{mi} representa la potencia mecánica aplicada a cada máquina, ω_i representa la velocidad de las mismas, ω_R es la velocidad angular de referencia ($2\pi f_R$, f_R es la frecuencia del sistema) y D_i se denomina coeficiente de amortiguación que para el presente análisis valdrá cero. Las últimas ecuaciones se constituyen en un sistema de $2n$ ecuaciones diferenciales no lineales, que deben ser resueltas a través de algún método.

El ejemplo 2.7 de la referencia /3/, realiza el cálculo de los ángulos del rotor de cada máquina en un período de análisis de 2 [s], cuando el sistema trabaja a 60 Hz y con una falla equivalente a 5 ciclos ($0.016666 \text{ [s/ciclos]} * 5 \text{ [ciclos]} = 0.083 \text{ [s]}$); situación que se pretende reconstruir, pero esta vez a partir del simulink. La falla que se presenta en el sistema WSCC a analizar, consiste en un cortocircuito trifásico cerca a la barra 7 al final de la línea que interconecta las barras 5 y 7.

En la ecuación (3), la matriz Y_{BUS} es una matriz de 9×9 ; por lo tanto se puede encontrar tres matrices: $Y_{BUS AF}$, $Y_{BUS DF}$, $Y_{BUS PF}$ donde AF, DF, PF significan: Antes de la Falla, Durante la Falla y Posterior a la Falla, respectivamente y que se las puede encontrar en la misma referencia /3/. Conociendo la configuración de la red, y las respectivas fallas es posible encontrar dichas matrices; sin embargo como se vio en la referencia /5/, es posible reducir estas matrices eliminando nodos internos diferentes a los nodos de generación (más adelante se verá como las barras 1, 2 y 3 se convierten en barras internas). Las matrices reducidas antes, durante y posterior a la falla son los que indica el cuadro 3.

Antes de Falla Y_{AF}	0.846-j2.988	0.287+j1.513	0.210+j1.226
	0.287+j1.513	0.420-j2.724	0.213+j1.088
	0.210+j1.226	0.213+j1.088	0.277-j2.368
Durante Falla Y_{DF}	0.657-j3.816	0	0.070+j0.631
	0	-j5.486	0
	0.070+j0.631	0	0.174-j2.796
Posterior Falla Y_{PF}	1.181-j2.229	0.138+j0.726	0.191+j1.079
	0.138+j0.726	0.389-j1.953	0.199+j1.229
	0.191+j1.079	0.199+j1.229	0.273-j2.342

La referencia /3/ señala que por conveniencia las barras numeradas con 1, 2 y 3 se emplean como barras internas, por lo tanto ello implica que dichas barras estarían ubicadas antes de la reactancia transitoria de cada generador y esto a su vez significa que a cada transformador se le debe sumar dicha reactancia transitoria. En la misma referencia /3/, se muestra un flujo de cargas del cual son de interés para el presente, los siguientes:

\vec{E}_1	1.0566 ang(2.2717°)	1.0566 ang(0.0396)
\vec{E}_2	1.0502 ang(19.7315°)	1.0502 ang(0.3444)
\vec{E}_3	1.0170 ang(13.1752°)	1.0170 ang(0.2299)

La figura 9 muestra el modelo simulink propuesto para el sistema de la WSCC. Este modelo se lo construyó con la idea de que posea la menor cantidad de bloques disponibles en la interface gráfica y que los mismos sean simples permitiendo un grado de automatización razonable.

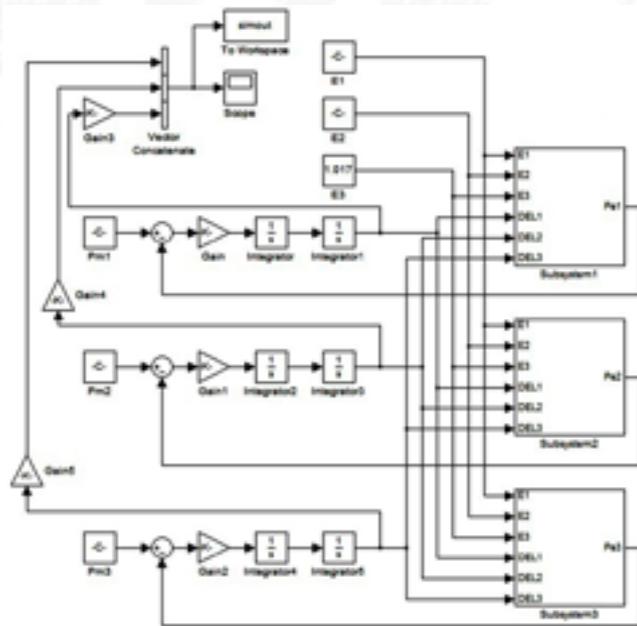


Figura 9. Modelo Simulink propuesto para el sistema de la WSCC

El modelo posee tres bloques de ganancia que permiten convertir los radianes medidos a la salida de los últimos bloques de integración y estos son concatenados en un vector de concatenación que permite mostrar tres gráficos en el objeto scope (el lector debe experimentar en otras posiciones). Los bloques de integración representan las ecuaciones diferenciales que se debe integrar para cada máquina.

El modelo también posee bloques de constantes y tres bloques con el nombre "Subsystem" los cuales representan la interacción de cada máquina con la red sometida a tres condiciones: Antes de la Falla (AF), Durante la Falla (DF), Posterior a la Falla (PF); en otras palabras cada bloque "subsystem" construye la ecuación (4) antes escrita. La figura 10 muestra la construcción del subsystem 1 y de modo a no extender el presente, los otros dos subsistemas deben ser construidos por el lector utilizando analogía.

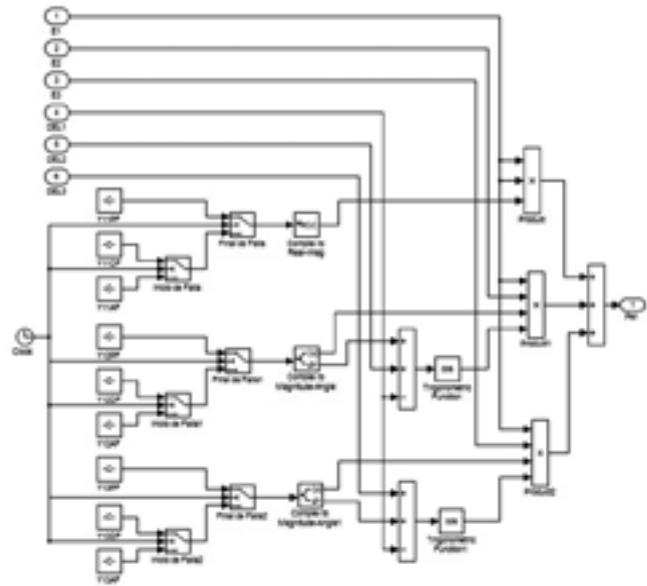


Figura 10. Creación del subsystem1

En el subsystem1 de la figura 10, se encuentran las entradas E1, E2 y E3 que representan la magnitud de las tensiones en cada generador; además se encuentran los ángulos de rotor δ_1 , δ_2 y δ_3 . El "subsystem1" también posee bloques de constantes con etiquetas Y11AF, Y11DF, Y11PF, Y12AF, Y12DF, Y12PF, Y13AF, Y13DF, Y13PF, los cuales representan a los elementos de las primeras filas en las matrices reducidas Y_{AF} , Y_{DF} , Y_{PF} . Para los otros dos subsistemas, se deberá considerar las segundas y terceras filas.

Los bloques de constantes ingresan a una combinación de switches que permiten iniciar y finalizar la falla; estos switches son activados por la variable tiempo, razón por la cual la entrada central de estos bloques deben estar conectados a un bloque "clock". Los últimos bloques de switch etiquetados "Final de falla" van conectadas a un bloque de conversión de complejo a real-imaginario y a dos bloques que convierten de complejo a magnitud-ángulo. El bloque complejo a real-imaginario permite obtener las conductancias y los bloques complejo a magnitud-ángulo permiten convertir las admitancias de la forma cartesiana a la forma polar. Los ángulos obtenidos de las admitancias juntamente los ángulos de rotor adecuados, entran a un bloque de suma que a su salida los ingresa a un bloque de función coseno. Finalmente el subsystem1 posee bloques de

productos y de suma final que permiten construir la ecuación (4), para finalmente sacar una señal de Potencia eléctrica. El cuadro 4 muestra todos los parámetros para la simulación. Los bloques de constantes para las matrices reducidas Y_AF, Y_DF, Y_PF deben ser elaboradas tal como se explicó anteriormente.

El propósito de establecer el inicio de falla en 0.5 segundos es ver el comportamiento del modelo establecido cuando no se aplica disturbio alguno. Puesto que los resultados obtenidos van al workspace mediante el bloque simout, se puede evidenciar que entre 0 y 0.5 segundos existe un error ya que los ángulos no se mantienen constantes antes de que ocurra la falla. Esto se debe a que los valores de Potencia mecánica antes de la falla no son los correctos. Si se emplea tres bloques scope a la salida de cada subsistema y se los ajusta para que se pueda llevar las respectivas potencias al workspace, se puede ver que el primer cálculo de dichas potencias es: $P_{m1}=0.7167$, $P_{m2}=1.6295$, $P_{m3}=0.8698$. Reemplazando estos valores en los bloques correspondientes a las Potencias mecánicas, se podrá ver que esta vez los ángulos de rotor son aproximadamente constantes en el intervalo de 0 a 0.5 [s]. La figura 12 muestra el nuevo comportamiento y se puede ver que el final de los trazos esta vez son más próximos a 300 grados y no a 250 grados como en el anterior caso.

Cuadro 4. Parámetros del modelo simulink

BLOQUE	FUNCION	PARAMETRO	AJUSTE
Todos los switch "Inicio de falla", en todos los subsistemas	Programa el inicio de falla.	U2>= Threshold	Threshold=0.5
Todos los switch "Final de falla", en todos los subsistemas	Programa el final de falla.	U2>= Threshold	Threshold=0.583
Todos los bloques complex to Real-imag en todos los subsistemas	Extrae la parte real e imaginaria de un número complejo.	Output	real
Todos los bloques complex to Magnitud-angle en todos los subsistemas	Expresa un numero complejo de la forma cartesiana a la polar	Output	Magnitud and angle
Bloque de constante Pm1	Potencia mecánica aplicada al generador 1	Constant value	0.7162
Bloque de constante Pm2	Potencia mecánica aplicada al generador 2	Constant value	1.6298
Bloque de constante Pm3	Potencia mecánica aplicada al generador 3	Constant value	0.8504
Bloque de constante E1	Tensión interna del generador 1	Constant value	1.0566
Bloque de constante E2	Tensión interna del generador 2	Constant value	1.0502
Bloque de constante E3	Tensión interna del generador 3	Constant value	1.017
Gain	Constante $\frac{\pi f_0}{H}$	Gain	$\pi * 60$ $\frac{23.64}{\pi * 60}$
Gain1	Constante $\frac{\pi f_0}{H}$	Gain	$\frac{6.4}{\pi * 60}$
Gain2	Constante $\frac{\pi f_0}{H}$	Gain	$\frac{3.01}{\pi * 60}$
Gain3, Gain 4 y Gain 5	Convierte los ángulos de radianes a grados	Gain	$\frac{180}{\pi}$
Integrator1	Segunda derivada	Initial condition	0.0396
Integrator2	Segunda derivada	Initial condition	0.3444
Integrator3	Segunda derivada	Initial condition	0.23

La figura 11 muestra los resultados de la simulación con los parámetros anteriormente descritos. Para la versión de MATLAB R2009a, el SiMULNK que lo acompaña viene con 8 métodos de integración de paso variable. El método de integración empleado es el ode23tb (stiff/TR-BDR 2).

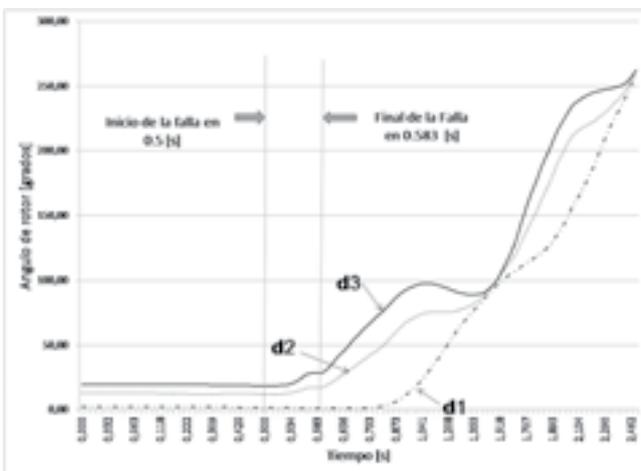


Figura 11. Trazo de los ángulos de rotor en los tres generadores

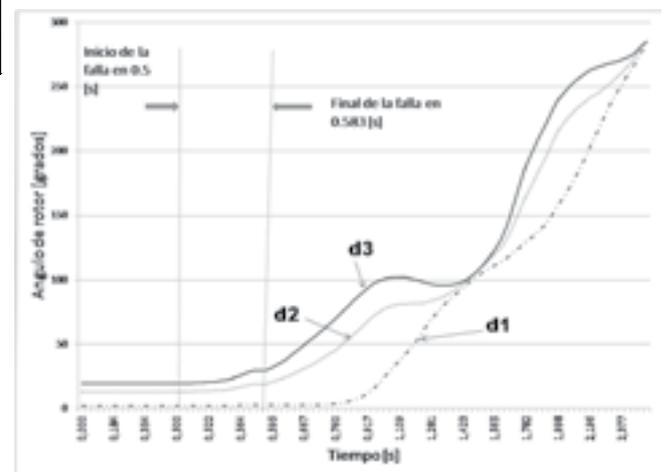


Figura 12. Trazo de los ángulos de rotor en los tres generadores

CONCLUSIONES.

Se han desarrollado dos modelos para el estudio de estabilidad transitoria empleando el SIMULINK. Estos modelos básicamente son funciones de transferencia de las ecuaciones del sistema. Resulta admirable la capacidad que tiene SIMULINK para adaptarse al modelado

de sistemas de potencia, lo mismo para con la sencillez de sus bloques de funciones; lo cual lo convierte en una herramienta versátil. Si bien en el presente trabajo se ha realizado el modelado exclusivamente haciendo uso de los bloques disponibles en la interface gráfica, es posible complementar y hacer interactuar con scripts externos. SIMULINK posee una variedad de bloques componentes que están disponibles librerías compatibles como ser Power System blockset, Controls Toolbox, Neural Networks Blockset, etcétera.

Es posible añadir mayor complejidad del presente modelo, por ejemplo haciendo uso de modelos de Turbinas, Gobernadores, Sistemas de excitación, etcétera, lo cual debería se desarrollado por el lector como un trabajo futuro.

BIOGRAFIA.



Rogelio José Choque Castro, Nacido en La Paz Bolivia, es Ingeniero Electricista titulado en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Trabajó durante diez años en la Industria Textil (área de mantenimiento), Supervisor Proyecto de Electrificación Rural Illimani Sud, Residente de Obra Proyecto Porvenir-Chive, Residente y Superintendente para la empresa ENERGO S.R.L., Supervisor proyecto MCH-Totorapampa, Supervisor Queñi-Cotosi, fue docente de la Universidad de Aquino Bolivia (UDABOL) y Universidad Los Andes. Sus áreas de interés: Simulación de Transitorios en Sistemas de Potencia, Electrónica de Potencia, Procesamiento Digital de Señales, Sistemas de Control.

Correo electrónico:
choque.rogelio@gmail.com.

Página: <http://electricosas.blogspot.com/>

BIBLIOGRAFIA.

- 1/ Power System Stability Studies Using Matlab, Pranamita Basu, Aiswarya Harichandan, National Institute of Technology Rourkela, 2009.
- 2/ Power Systems Electromagnetic Transients Simulation, Neville Watson, Jos Arrillaga, IET Power and Energy Series 39, 2007.
- 3/ Power System Control and Stability, P. M. Anderson, 1977.
- 4/ Power System Dynamic Analysis phase I, EPRI EL-484 (Research Project 670-1) Final Report, B. Dembart, A. Erisman, E. Cate, M. Epton, H. Dommel, July 1977.
- 5/ Algunas consideraciones básicas en los estudios de estabilidad transitoria, Rogelio Choque Castro, Revista Electromundo N° 63, Octubre 2011.



*Gracias por el
Apoyo en los
30 Años de
Edición Continua*



CONTAMINACION ACUSTICA – RUIDO AMBIENTAL SECTOR ELECTRICO - TRANSMISION

Ing. Rubén Marca Carpio

PALABRAS CLAVE: contaminación acústica, transformador de potencia, ruido, medio ambiente.

1. INTRODUCCION

Los últimos años la gestión ambiental se ha convertido en un tema relevante y condicionante en el planteamiento de proyectos eléctricos y operación del mismo, dado que las instituciones ambientales, solicitan y plantean acciones de monitoreos especiales.

De acuerdo a la Ley de Electricidad (Ley No. 1604), Transmisión, es la actividad de transformación de la tensión de la electricidad y su transporte en bloque desde el punto de entrega por un Generador hasta el punto de recepción por otro Agente del sector eléctrico. El Transmisor es la empresa eléctrica, que entre sus principales activos o equipamientos contiene subestaciones y líneas en Alta Tensión.

Una subestación eléctrica (S/E) es un arreglo de componentes que incluyen barras, transformadores de potencia, interruptores, seccionadores, etc., son parte integral de un sistema de potencia y forma eslabones importantes entre las instalaciones del sistema eléctrico.

El Artículo 6 (Ley 1604), hace referencia a la conservación del medio ambiente y puntualmente cita: El ejercicio de la Industria Eléctrica se sujetará a la legislación referida al medio ambiente aplicable al sector. En el país actualmente no se cuenta con un reglamento ambiental sectorial (eléctrico) y por tanto se aplica la normativa general: Ley de Medio Ambiente No. 1333.

En base a este contexto normativo, el Organismo Sectorial Competente (OSC) y Autoridad Ambiental Competente (AAC), realizan

evaluaciones, revisiones, recomendaciones a las actividades y a los monitoreos ambientales de las empresas eléctricas de Transmisión.

El presente artículo, pretende demostrar que la actividad de Transmisión no tiene incidencias o impactos ambientales debido a la contaminación acústica (ruido) ambiental, por lo menos de acuerdo a los niveles de tensión (kV) y potencia instalada (MVA) de transformadores en las subestaciones del país.

Es así que la actividad de Transmisión del sector eléctrico en Bolivia, por si misma cumple con la normativa ambiental y no genera ruidos que sean superiores a los niveles establecidos en la Ley de Medio Ambiente. Conclusión que debe tomarse en cuenta, sobre todo por las instituciones como el OSC y AAC.

2. MARCO NORMATIVO AMBIENTAL - RUIDO

El análisis de ruidos se efectúa tomando como referencia, los límites establecidos en el Anexo 6 del Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (Ley 1333), mientras que para el ruido ocupacional se considera 85 dB(A) para una exposición continua de 8 horas, como valor referencial, de acuerdo a la norma de Seguridad e Higiene de la Occupational Safety And Health Administration (OSHA).

Rango Horario	06:00 a 22:00	22:00 a 06:00
Límite máximo permisible en dB(A)	68	65

En este contexto, las mediciones de ruidos, se realizan para dos situaciones, la primera enfocada a realizar la medición en el perímetro límite de las Subestaciones (<65 dBA). La segunda se realiza al interior de la subestación y próximas a los transformadores (85 dBA).

3. TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Dentro las S/Es los transformadores (Fig. 1) son la principal fuente de ruido, el característico zumbido, uniforme y continuo, se debe al fenómeno de magnetostricción (pequeñas variaciones de tamaño de las láminas de metal componentes del núcleo, debido a la densidad de flujo magnético), con su característico espectro tonal, en el que se destaca la frecuencia de 100 Hz (doble de la de operación). Los ventiladores de refrigeración son la otra fuente de ruido, con un espectro de banda ancha, en forma de campana, con variaciones suaves entre bandas de frecuencias.

Figura No. 1. Transformador de Potencia



Los transformadores de Potencia, son utilizados entre niveles de voltaje consecutivos para elevar o reducir niveles de voltaje de corriente alterna, la potencia se expresa en MVA y se cubre un amplio rango, por ejemplo de 5 kVA a 650 MVA. Los transformadores se diseñan y se construyen en varios tamaños, desde unos pocos KVA hasta varios cientos de MVA, desde baja tensión, hasta extra-alta tensión y ultra-alta-tensión (765 kV, 100 kV, 1200 kV).

En el país, los niveles de tensión son del orden de 69, 115, 230 kV y las potencias de transformadores

por unidad física, ya sea monofásica o trifásica, son del orden de 30 MVA.

3.1. MAGNETOSTRICCION

La onda sinusoidal representa el flujo de electricidad desde la mitad positiva del ciclo, pasando por neutro, hacia la mitad negativa. Este ciclo ocurre a 50 veces por segundo, yendo de positivo a negativo una y otra vez. Esta es la base del proceso magnetostricción. A medida que la corriente eléctrica varía de acuerdo a la onda sinusoidal, el flujo magnético también lo hace a través del núcleo magnetizado. El núcleo es jalado hacia adentro en el piso del ciclo positivo; cuando alcanza de nuevo el punto 0 en la onda, el transformador se relaja y así sucesivamente. Esta muy ligera contracción y expansión del laminado del núcleo durante la magnetización y desmagnetización, ocurre 100 veces por segundo.

3.2. RUIDO DEL NUCLEO

La magnetostricción, o movimiento periódico de contracción del núcleo, produce una vibración en el acero del núcleo y por tanto, ruido. Este ruido se manifiesta como un zumbido del núcleo cuando se aplica una tensión de corriente alterna. Para transformadores de 50 Hz, el zumbido se genera a 100 Hz ya que el núcleo responde a los dos picos de tensión, positivo y negativo, de cada ciclo.

Las propiedades de magnetostricción del núcleo son directamente proporcionales a la densidad de flujo (B) para la que fue diseñado. A medida que la densidad de flujo en el núcleo aumenta, se produce la elongación, y por tanto la contracción en la longitud del laminado de acero del núcleo. A mayor densidad del flujo, mayor será el nivel de ruido del núcleo.

El ruido del núcleo se puede caracterizar por dos parámetros, la frecuencia (el tono) medido en ciclos por segundo y la intensidad (el volumen) que se refiere a la amplitud medida en decibeles (dB) de nivel de presión sonora.

Desde el punto de vista acústico, interesa agrupar las subestaciones en las de intemperie y cerradas; en el país y en los niveles de Alta Tensión (Alta Tensión) se tienen los transformadores a intemperie o en parque abierto.

En la intemperie, los transformadores se ubican a nivel del suelo y separados por los muros cortafuegos (para trafos monofásicos), facilitando la transmisión sonora a distancia. Por tanto la transmisión de sonido, tiene como única variable natural para disminuir la carga sonora sobre su entorno, la atenuación debido a la distancia.

Entonces, conociendo la potencia acústica propia de cada uno de los transformadores (L_w) o medida en condiciones de laboratorio in situ y próximo al transformador, se puede predecir el nivel sonoro (L_r) a la distancia "r", mediante la relación:

$$L_r = L_w - 20 \log\left(\frac{r}{\sqrt{S}}\right) - 8 \quad [\text{dB}]$$

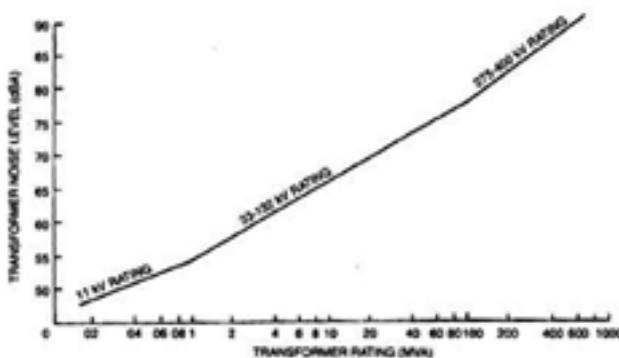
En la que "S" es la superficie de un paralelepípedo que encierra al transformador.

3.3. VALORES DE RUIDOS

3.3.1. ANÁLISIS TEÓRICO

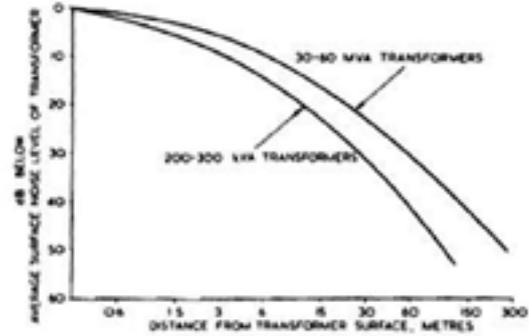
El nivel de ruido de los transformadores, tiene relación directa con la potencia y la atenuación con la distancia al contorno de la subestación.

Figura No. 2. Nivel de ruido (dBA) vs. Potencia del Transformador.



En la figura 2, se puede observar la relación de ruido, de acuerdo a la potencia del transformador (MVA). Por ejemplo, para un transformador de 20 MVA (eje abscisas), un transformador tendría un ruido propio del orden de 67 dBA (eje ordenadas).

Figura No. 3. Atenuación del ruido (dBA) vs. La distancia de alejamiento del Transformador.



En la figura 3, se puede observar que el ruido propio del transformador se va atenuando, según se incrementa la distancia de alejamiento del transformador. Para el ejemplo, si el límite del predio de la subestación, está a 60 metros del transformador (eje abscisas) le corresponde aproximadamente 30 dBA (eje ordenadas), entonces el nivel de ruido en el predio o límite de la subestación será de 37 dBA (67-30 dBA).

De esta forma teórica, queda demostrada que el valor de ruido emitido para un transformador de 20 MVA, tiene un nivel de 37 dBA en el límite de la subestación. Valor que está dentro el rango permisible definido por la Ley de Medio Ambiente.

3.3.2. MEDICIONES CON SONÓMETRO IN SITU

Por otra parte, evaluado los resultados de mediciones directas realizadas in situ, en diferentes subestaciones con transformadores de potencia (hasta 25 MVA), dan en promedio valores del orden de 40 dBA, en los límites de las subestaciones.



4. CONCLUSIONES

De los equipos existentes en las subestaciones, es el transformador de potencia el que emite relativamente, mayor ruido respecto a los otros equipos.

A partir del análisis teórico, de los resultados de mediciones de ruido in situ, de los niveles de tensión del país 69, 115, 230 kV, y que los transformadores instalados son del orden de 30 MVA (por unidad constructiva); se tiene que los niveles de ruido en subestaciones (generados por el transformador de potencia), cumplen satisfactoriamente la normativa ambiental del país y por tanto este aspecto ambiental no se constituye en impacto ambiental.

Esta conclusión demuestra que no se requieren mayores trabajos exhaustivos de monitoreo de ruidos exigidos por las instancias ambientales, que suelen generalizar la emisión de ruidos con las de otras actividades industriales; las cuales son muy diferentes a la sector de Transmisión.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA:

- Subestaciones eléctricas – Enríquez Harper
- Ley de Electricidad No. 1604
- Control de ruidos en S/E. Lamas, EDESUR, CIER

- Transformer Book. Heathcote.
- Mantenimiento del transformador. Horning.

AUTOR:



Rubén Marca Carpio.

Ingeniero Eléctrico, UMSS
Master en Administración de Empresas
Master en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Email: rmarca5@hotmail.com
Cochabamba – Bolivia.



Power and productivity
for a better world™

*Gracias por el
Apoyo en los
30 Años de
Edición Continua*



AYUDAS VISUALES ILUMINADAS - NUEVAS TECNOLOGIAS PARTE 2

Lic. Sergio Iván Barbosa Calderón

RESUMEN. El presente artículo es la continuación del artículo publicado en el número 67 de esta revista, donde se explicó con mucho detalle sobre el equipo APS – Advanced Power Supply, sus características técnicas y sus beneficios, fabricado por la empresa ADB Airfield Solutions.

Las pruebas del equipo APS instalado, en septiembre del año pasado, en el Aeropuerto Internacional El Alto serán detalladas dentro del contenido de esta publicación.

Finalmente se resume y traduce la nota de la revista Airport Improvement sobre la implementación del suministro de energía con paneles solares para la iluminación de borde de calle de rodaje en el Aeropuerto Regional de False River en New Roads, Los Angeles - USA.

1. PRUEBAS EN LA ALTURA DEL EQUIPO APS

El equipo APS fue instalado en septiembre del año 2012 en la Sala de Energía de AASANA Regional La Paz, con el objetivo de evaluar su funcionamiento a 4000 metros sobre el nivel del mar. Junto con este equipo se instalaron dos luces con lámparas LED, las cuales son compatibles con los circuitos convencionales de 6,6 amperios.

Luego de cumplir con todas las instrucciones técnicas del fabricante para su instalación, se conectó el control remoto del equipo APS, en forma paralela con el regulador de corriente constante de 10 KVA que alimenta las calles de rodaje del Aeropuerto Internacional El Alto, de manera que cuando los controladores de tránsito aéreo enciendan desde el panel de torre de control las luces del aeropuerto, el equipo APS también se active.

Además, se adaptó un medidor de horas de funcionamiento, pues internamente el equipo APS no lleva uno, con el fin de controlar las horas de trabajo mientras dure la prueba. Este horometro fue conectado en la salida del contactor principal del equipo APS (Fig. 1 y Fig. 2)

Las dos luces de calle de rodaje ETES/1120, tipo L-861T, enviadas por la empresa ADB, cada una de una potencia de 12 watts fueron conectadas a la salida del equipo APS, para ser energizadas y observar su funcionamiento.

Lamentablemente no se pudo realizar pruebas del equipo APS con las luces fabricadas específicamente para este equipo, debido a problemas de logística en el envío de las mismas.

Luego de 19 días de funcionamiento continuo, marcando 96 horas de funcionamiento, el equipo APS fue desenergizado por mostrar fallas de circuito abierto, para posteriormente ser enviado a Columbus, Ohio para su revisión.



Fig.1 Equipo APS acondicionado con un horometro instalado en AASANA



Fig.2 Vista Interior del equipo APS

Las luces de color azul, ETES fabricadas para la iluminación de borde de calle de rodaje, en primera instancia fueron instaladas en la parte posterior del Bloque Técnico – AASANA junto con los dos transformadores de 65 Watts (entregados por ADB) sobre bases de plástico. (Fig.3)



Fig. 3 Luminarias ETES de marca ADB con lámparas LED en pruebas Aeropuerto El Alto

Después de recibir el permiso correspondiente de la Gerencia de SABSA, se instalaron estas luces ETES en la calle de rodaje "B", cerca a la zona de parada, conectados al circuito serie de 6,6 amperios. Se eligió esta ubicación con el fin de que los pilotos en las diferentes operaciones aéreas sean consultados, por parte de los controladores de tránsito aéreo, para ver si notaban alguna diferencia de brillo y de color con el resto de las luces de calle de rodaje. (Fig. 4)



NOCHE



DIA

Fig 4. Elementos LED instalados en la iluminación de borde de calle de rodaje "B"

Luego de varias consultas y respondiendo con una nota por parte de la Jefatura de Tránsito

Aéreo, indican que los pilotos no notaron ninguna variación, cuando se les solicitaba que verifiquen el brillo de las luces de ese sector, recién indicaron que notaban mayor brillo en las luces tipo LED.

Un aspecto sobresaliente de estos elementos luminosos es que en el día son mucho más perceptibles que el resto de las luces y en la noche se notan mucho más brillantes, trabajando sin problemas por más de un mes en la ubicación indicada.

La siguiente tabla muestra algunos parámetros medidos durante las pruebas realizadas.

	10% brillo	30% brillo	100% brillo
Voltaje Entrada [V]	212	217	219
Corriente Entrada [A]	0,2	0,9	1,2
Factor de Potencia	0,67	0,85	0,96
Potencia [W]	50	104	260
Potencia aparente [VA]	78	122	270
Voltaje Salida [V]	10,62	13,12	24,36
Corriente Salida [A]	1,14	1,76	2,74

La experiencia adquirida por los técnicos de AASANA en la instalación y operación de un equipo de última generación en lo que se refiere a la alimentación de ayudas visuales iluminadas es uno de los beneficios de esta valiosa prueba realizada el año 2012.

Finalmente, comentar que aún se espera el reporte de los técnicos de ADB sobre el equipo APS que se instaló en La Paz, Bolivia. Una vez acondicionado con tecnología de tercera generación de esta familia, el equipo APS será enviado a Chile.

2. INSTALACION DE ENERGIA SOLAR EN EL AEROPUERTO FALSE RIVER

Se necesita una gran cantidad de energía y lámparas para mantener las luces de calle de rodaje operando toda la noche. Con una inversión de 130 mil dólares, un Aeropuerto de Louisiana ha reducido sus necesidades energéticas, con la acumulación de energía solar para usarla en la noche.

Allen Taylor, administrador del sistema aéreo del Departamento de Transporte y Desarrollo de Louisiana, ha trabajado en las mejoras de las luces de iluminación aeroportuaria por muchos años, recomendando normas a la Administración Federal de aviación (FAA, por sus siglas en ingles).

En la actualidad, Taylor no ha considerado la idea del suministro de energía solar para elementos LED. Su logro fue solamente poner fin al problema que aquejaba a los aeropuertos por años: el cual era que un miembro del personal instalara las luces de calle de rodaje y otro accidentalmente las removiera con una máquina corta césped o con un vehículo de mantenimiento. Un elemento de bajo perfil fue su enfoque, hasta el último año, cuando ADB le informo a cerca de una nueva fuente de alimentación que ha sido desarrollada y que usa Modulación de Ancho de pulso (PWM) y que consume un 90% menos de energía.

“Me llené de asombro porque es un tecnología muy interesante” comento Taylor.

Taylor seleccionó el Aeropuerto Regional de FALSE RIVER en New Roads, Los Angeles, para probar este concepto y los elementos nuevos. El aeropuerto de False River es el aeropuerto regional mejor mantenido y podría decirse que es uno de los de mejor calidad de la nación, explico Taylor. Posee un sistema de calles de rodaje paralelas que fueron instaladas en 1997.

El aeropuerto puso fuera de servicio el sistema de iluminación de borde calle de rodaje y comenzó remplazando de 6 a 10 elementos por día con lámpara a cuarzo por los nuevos elementos LED. Con 164 elementos que cambiar el reemplazo total tomó cerca de 6 semanas.

El personal cambio los transformadores de aislación de 30/45 Watts de cada una de las bases y luego uso el cableado y los conectores existentes para la instalación de las nuevas luces de bajo perfil de borde de calle de rodaje.

Tuvimos problemas con los transformadores de aislación debido a su tiempo de servicio, explico Taylor. Estos transformadores tienen su

propio nivel de pérdidas desde el punto de vista eléctrico, pero una vez que se eliminaron estos elementos, se dejaron conectados directamente los dos cables al nuevo elemento LED.

La nueva luz LED de calle borde de rodaje, recibe corriente modulada DC desde el equipo APS (Advanced Power Supply) que provee la intensidad deseada. El equipo APS es alimentado por un inversor, el cual recibe energía DC de un banco de baterías cargado por energía solar. Debido a que los elementos LED requieren muy poca energía, los elementos no necesitan transformadores de aislación en cada unidad para regular la cantidad de energía suministrada a la unidad.

Utilizamos el concepto de PWM (Pulse With Modulation) para desarrollar el APS de manera que provea el tipo y la cantidad de corriente que el LED necesita. Con la eliminación de los requerimientos de la electrónica en las luces, estamos listos para brindar simplicidad en el sistema y evitar el uso de otros componentes, como la empresa ADB.

El proyecto fue implementado a un costo de 130 mil dólares. Sin embargo, la iluminación LED consiguió que el aeropuerto reemplace el regulador de 15 KW por una unidad APS de 1 KW. Mientras el Regulador de Corriente Constante pesaba 400 a 1000 libras, el nuevo equipo APS pesa entre 15 a 20 libras y ocupa un espacio significativamente más reducido.

Las luces elevadas originales de calle de rodaje requieren para su instalación lámparas halógenas de 30 a 45 Watts con una duración de 1000 horas. Las nuevas lámparas LED se encienden con una reducción de consumo de energía y su promedio de vida es entre 100 mil y 200 mil horas.

En otras palabras, al contrario de usar 15 Kw de potencia, el aeropuerto regional de False River está habilitado para el siguiente paso, ingresar a la alimentación con baterías. Esto resulta en un consumo del aeropuerto dramáticamente reducido.

Las lámparas de 45 W necesitaban 7425 W de potencia cada día para ser energizadas.

Se necesitarían más de 40 paneles solares y docenas de baterías para proveer la suficiente potencia para cubrir los 7425 W de carga.

En este tipo de situación el suministro con energía solar no sería económicamente efectivo. Con el nuevo sistema se reduce de 45 W a 4,5 W, por lo que el consumo de energía se reduce de 7425 W a 742 W.

Usando los nuevos elementos en el circuito existente de calle de rodaje, el aeropuerto está listo para utilizar el mismo cableado, reduciendo el costo de instalación. La selección de 10 paneles solares, energiza al equipo APS de 1000 Watts, estos paneles recolectan cerca de 1700 watts de energía y acumulan esta energía en un banco de baterías. Desde aquí un inversor convierte la energía DC de las baterías a voltaje AC, el cual energiza el equipo APS.

El nuevo equipo APS tiene una salida de corriente de 2 amperios versus los 6,6 amperios del sistema antiguo. La baja corriente implica una disminución de la disipación de energía en el cableado y requiere menos cable eléctrico de cobre.

Con una menor corriente en el circuito el cable no tiene que ser muy grueso, lo cual también reduce los costos.

En mayo del año 2010 se instaló en el Aeropuerto Regional FALSE RIVER en New Roads de Los Ángeles el primer circuito de iluminación aeroportuaria energizado con paneles solares, con 164 luces de calle de rodaje conectadas al equipo APS de la empresa ADB. El circuito usa energía solar como suministro principal y es capaz de funcionar 3.5 días sin sol.

Taylor predice que los sistemas de iluminación solar usando PWM muy pronto llegaran a ser un estándar para iluminación de pistas y calles de rodaje cuando se construyan nuevas franjas de aterrizaje o calles de rodaje, o se conviertan

los aeropuertos a aeropuerto "verdes". Con las modificaciones sugeridas, él estima que los aeropuertos pueden reducir sus costos en un 30% en las nuevas construcciones.

La empresa Carmanah Technologies se asocio junto con ADB para desarrollar la parte de energía solar del sistema.

El equipo APS utilizando la tecnología PWM generara un ahorro en el costo de la electricidad entre un 85 a 90% comparado con el tradicional sistema de iluminación.

Para dar mayor confiabilidad, Taylor insistió en instalar una transferencia automática que transfiera la iluminación de calle de rodaje al suministro de energía comercial en menos de un segundo en caso de una falla en la energía solar. Desde que la energía solar fue instalada nunca hubo la necesidad de cambiar a la energía comercial de respaldo.

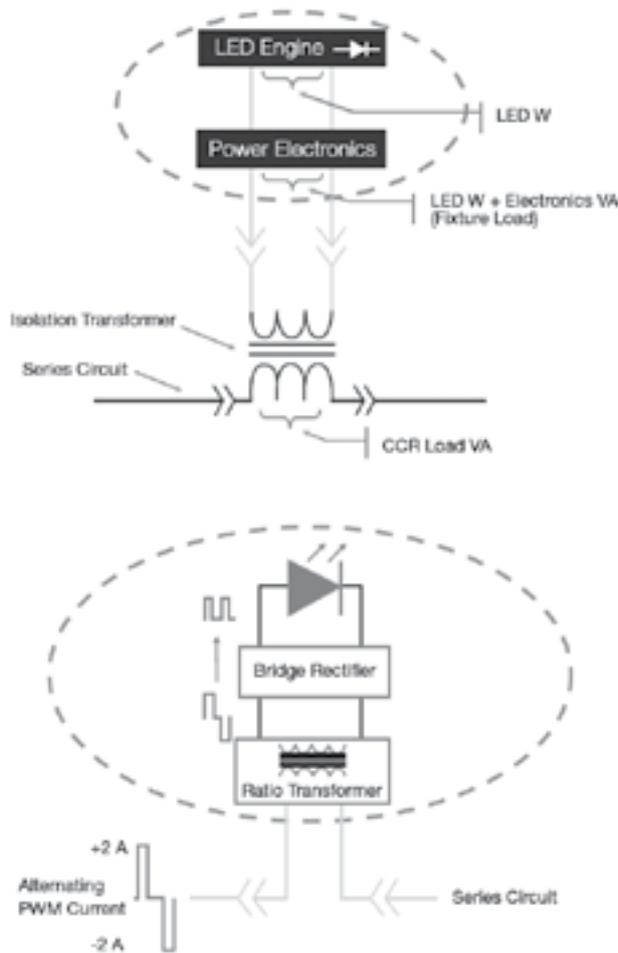
Los paneles solares, controlan la carga de las celdas y han realizado bien su trabajo manteniendo el voltaje y la temperatura correcta en el sistema de 48 Voltios DC, llegando a ser el más eficiente camino para el manejo cronológico del cambio de las baterías. Se utiliza un regulador de temperatura pasivo que mantiene una buena temperatura en las baterías hasta en los periodos de excesivo calor y en consecuencia alarga la vida de las mismas.

Esta nota fue extractada y traducida de la revista Airport Improvement del año 2010 y complementada con la publicación de la empresa ADB sobre el mismo aeropuerto. Existe una segunda fase (marzo 2011) en la que se instalaron dos circuitos intercalados de luces de borde de pista de media intensidad en los 1525 metros de la pista. Como se podrá entender, los beneficios que conlleva el cambio de las nuevas luces de tipo LED son muy grandes. De hecho estas nuevas investigaciones e implementaciones, realizadas en Estados Unidos y otros países desarrollados marcan la gran diferencia de tecnología con nuestro país. Estos nuevos elementos LED deberán ser tomados en cuenta para los siguientes proyectos de iluminación de los aeropuertos de Bolivia. En la figura anterior se muestra la luz LED de conexión tradicional (parte de arriba) y la luz LED con alimentación de APS sin circuitos electrónicos adicionales (parte de abajo).

Las luces de tipo LED, fabricadas por la empresa ADB, en su primera generación venia con unos circuitos electrónicos internos para poder funcionar con el suministro de energía convencional del RCC cuya salida máxima de voltaje es de 6,6 amperios, lo cual repercutía en las pérdidas de energía.

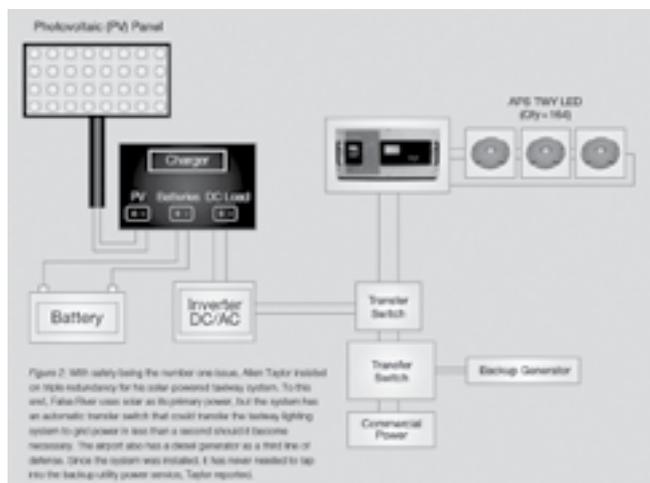
Con las luces LED cuyo suministro de energía vienen dado por el nuevo equipo APS, se ha evitado estos circuitos electrónicos internos y se conecta directamente al elemento, con una salida máxima de corriente de 2 amperios.

La siguiente figura muestra la configuración final del sistema de iluminación de borde de calle de rodaje del aeropuerto de False River,



donde se puede apreciar la triple redundancia de suministro de energía, por un lado están los paneles solares y la baterías, por otro la energía comercial y finalmente un generador de reserva incrementando la confiabilidad del circuito.

Finalmente apreciar que las luces instaladas en el aeropuerto de False River, no son elevadas ni tampoco de tipo empotrado, sino de bajo perfil (low profile), vale decir que poseen mayor superficie sobre el terreno que una de tipo empotrado y que tampoco pueden ser atravesadas por una aeronave.



BIBLIOGRAFIA

<http://www.airportimprovement.com/content/story.php?article=00218>
 Revista Airport Improvement – octubre del 2010.
http://www.adb-airfield.com/uploadedFiles/adb-us/About_Us/News_and_Events/ADB_News/Articles/False%20River%20Booklet_FINAL.pdf
<http://www.adb-airfield.com/news.aspx?id=6411>
 Artículo de la Empresa ADB Airfield Solutions sobre el Aeropuerto Regional False River.
http://adb-airfield.com/product_center/products.aspx?sub=0#
 Pagina de productos de ADB-Airfield Solutions.

AUTOR



Lic. Sergio Iván Barbosa Calderón, Licenciado en Electromecánica, Universidad Mayor de San Andrés.

Diplomado en Educación Superior, Facultad Técnica – UMSA.

Participante del Taller de Ayudas Visuales – Nuevas Tecnologías, OACI, Lima- Perú, 2012. Integrante de la sección de Electromecánica, AASANA Regional La Paz, Aeropuerto Internacional El Alto.

Áreas de Interés: Automatización Industrial, Control y Monitoreo Automatizado, Ayudas Visuales Iluminadas para la Navegación Aérea.

Correo: sibc73@gmail.com



Gracias por el Apoyo en los 30 Años de Edición Continua

COPIMERA BOLIVIA 2013

COPIMERA BOLIVIA 2013

La Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines (COPIMERA) es una organización internacional con 25 países del Continente Americano afiliados y más de 40 años de existencia (Ver www.copimerainternacional.org). Cada dos años realiza un Congreso Panamericano y una Asamblea General, la cual para el año 2013 fue gratamente elegida como sede nuestro país, Bolivia. A nivel nacional la representación en COPIMERA está a cargo del Colegio de Ingenieros Electricistas y Electrónicos de Bolivia, a través de la Sociedad de Ingenieros de Bolivia.

El evento se desarrollará los días 29, 30 y 31 de Julio del presente año, en la ciudad de Santa Cruz. Se realizarán Conferencias Técnicas, Cursos Tutoriales y Visitas Técnicas, con temas actuales en las diferentes ramas de la Ingeniería y a cargo de expertos de nuestro país y de los países miembros de COPIMERA. Paralelamente al congreso, que se realizará en las instalaciones de FEXPOCRUZ, se tendrá una Feria exposición técnica.

Ver detalles del congreso en www.copimerabolivia2013.com

QUÉ ES COPIMERA?

LA CONFEDERACIÓN tiene su origen en el Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines. En 1965 en la Ciudad de San Juan, Puerto Rico, surge la idea de organizar este magno evento, a fin de intercambiar periódicamente con profesionales, investigadores y académicos sobre los nuevos conocimientos científicos e innovaciones tecnológicas para contribuir con el desarrollo de los pueblos de las Américas. El primer Congreso se organizó en 1967 en la Ciudad de México.

LA COPIMERA en todos sus eventos promueve el debate constructivo con espíritu crítico, dejando un legado importante a las actuales y futuras generaciones e induciendo lineamientos de políticas públicas que conduzcan a la generación de conciencias de gobernantes y gobernados de los Países del Continente Americano; a fin de que todos contribuyan con la defensa del bien común y utilizar la Ingeniería Panamericana al Servicio de la Sociedad mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y generando condiciones para una gobernanza responsable, social, política y económica.

OBJETIVOS DEL CONGRESO

Brindar conocimiento sobre las nuevas tecnologías, tendencias y avances sobre la Ingeniería Mecánica, Industrial, Eléctrica y Ramas Afines.

Ser un punto de encuentro e integración panamericano entre ingenieros, agrupaciones de ingenieros y otros sectores relacionadas al rubro ingenieril.

Integrar a los sectores públicos, privados, académicos y profesionales.

Brindar espacios para el análisis, estudio y propuestas de soluciones a temas de importancia para el desarrollo de los países de América, relacionados con el área ingenieril.

Promover nuevas tendencias de ingeniería sobre el cuidado del medio ambiente, seguridad industrial y responsabilidad social.

Dar posibilidades de participación a futuros profesionales, estudiantes de carreras de ingeniería.

PURIFICACIÓN Y REGENERACIÓN DE ACEITE DIELECTRICO

Ing. Marcelo Hinojosa Torrico

1. DEFINICIONES.

Regeneración: restauración de la utilidad por la eliminación de los contaminantes y productos de degradación como materiales polares, ácidos, o coloidal de líquidos de aislamiento eléctrico utilizados por medios químicos o adsorbentes. Los métodos de regeneración se utilizan generalmente en conjunción con purificación. La regeneración por lo general incluye el tratamiento con arcilla u otros adsorbentes.

Purificación: eliminación de los contaminantes insolubles, la humedad y gases disueltos, utilizado en líquidos aislantes eléctricos por medios mecánicos. Los medios típicos empleados son sedimentación, filtración, centrifugación, y secado al vacío o de desgasificación.

Aditivo: Un compuesto químico o compuestos añadido a un líquido aislante con el fin de impartir propiedades nuevas o la alteración de las propiedades que el fluido ya tiene.

Inhibidor: cualquier sustancia que cuando se añade a un fluido aislante eléctrico retarda o evita reacciones indeseables.

Inhibidor de la oxidación: cualquier sustancia añadida a un fluido aislante para mejorar su resistencia al ataque perjudicial en un ambiente oxidante. Por ejemplo, 2, 6-di-terc-butil-paracresol o 2, 6-di-terc-butil-fenol, o ambos, a veces se añaden al aceite de petróleo aislante para mejorar su estabilidad a la oxidación.

2. FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN ACEITES DIELECTRICOS

Contaminantes primarios

- Agua (humedad)
- Gases disueltos
- Partículas sólidas disueltas (Sólidos no coloidales >0,1 micrón)

Como fuentes de generación de humedad se pueden mencionar: la absorbida del medio ambiente, residual en aceite nuevo y aislamiento sólido. Cuando la temperatura del papel aumenta, algo de su humedad es liberada y absorbida por el aceite hasta alcanzar una condición de equilibrio.

La relación de componentes individuales del aire que se encuentran en el aceite, llegan a saturar el aceite dieléctrico.

Las fuentes de contaminación de los sólidos no coloidales como suciedades dejadas durante la fabricación del transformador, y propias del aislamiento de celulosa.

Contaminantes secundarios

- Sólidos coloidales menores a 0,1 micrones
- Acidez, gases y humedad productos de la oxidación.

Las fuentes de contaminación de sólidos coloidales son producto del envejecimiento del aceite (que es su fuente principal) y la del proceso de floculación (partículas de pocos Angstrom de diámetro se unen para formar otras de 0,05 a 0,1 micrones)

La presencia de oxígeno disuelto en el aceite, inicia el proceso de envejecimiento a través de la oxidación del aceite, cuyos productos iniciales son: ácidos orgánicos de bajo peso molecular, peróxidos, alcoholes, acetonas.

La polimerización posterior de hidrocarburos no saturados se precipita en forma de lodos.

El comportamiento fiable de un aceite mineral aislante en un sistema de aislamiento depende de ciertas características básicas que pueden afectar al comportamiento general del equipo eléctrico.

En servicio, el aceite mineral se degrada debido a las condiciones de utilización. En muchas aplicaciones, el aceite está en contacto y, por tanto, sometido a oxidación. Las temperaturas elevadas aceleran la degradación. La presencia de metales, compuestos organometálicos o ambos puede catalizar la oxidación. Pueden darse cambios en el color, formación de compuestos ácidos y, en estados avanzados de oxidación, precipitación de lodos. Pueden empeorar las propiedades dieléctricas y, en casos extremos, las térmicas.

Durante la vida del aceite, además de productos de oxidación, pueden acumularse en el aceite y afectar a sus propiedades eléctricas otros muchos contaminantes no deseables, como agua, partículas sólidas y compuestos polares solubles.

La presencia de estos contaminantes y cualquier otro producto de degradación del aceite se evidencian por el cambio de una o más propiedades.

El deterioro de otros materiales utilizados en la fabricación del equipo eléctrico, que puede interferir con su funcionamiento adecuado y acortar su vida útil, puede también evidenciarse por cambios en las propiedades del aceite.

3. CLASIFICACIÓN DE ACEITES EN SERVICIO Y CRITERIOS DE REUTILIZACIÓN.

Los límites funcionales de las propiedades del aceite en equipos eléctricos pueden variar con el tipo y diseño de manera que los límites aceptables para los aceites que pueden permanecer en servicio dependen de los requerimientos del aparato específico. Por tanto, es imposible indicar el significado de las pruebas específicas y los límites recomendados de prueba para todas las posibles aplicaciones existentes de aceite aislante en servicio. También debe reconocerse que no hay una prueba que se pueda utilizar como único criterio de la condición del aceite en servicio. Es posible, sin embargo, resumir el valor y la importancia de las pruebas actuales y

sugerir métodos de tratamiento para el aceite que se examina, tales métodos se basan en la experiencia actual de la industria. La norma IEEE 637-1985 sugiere límites que pueden ser utilizados para clasificar aceites en servicio basados en la evaluación de las características fisicoquímicas:

Clase 1. Los aceites que se encuentran en condiciones satisfactorias para uso continuo

Clase 2. Los aceites que requiere sólo de purificación para seguir prestando servicios

Clase 3. Aceite en mal estado. Este aceite debe ser regenerado o eliminado en función de consideraciones económicas

Clase 4. Los aceites en tan mal estado que es técnicamente aconsejable deshacerse de ellos

Tabla 1. Valores límites recomendados para aceites nuevos y en servicio

NORMA ACEITE	DESCRIPCIÓN	ACEITES OBJETIVOS NUEVOS				ACEITES EN SERVICIO				COMENTARIOS
		Módulo de potencia		Módulo de potencia		Clase 1		Clase 2		
		Min. (100%)	Max. (100%)	Min. (100%)	Max. (100%)	Min. (100%)	Max. (100%)	Min. (100%)	Max. (100%)	
D 5003	Valor Mínimo (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Aceite en condiciones
D 1500	Valor Mínimo (ppm)	0-15	15-1	1-15	1-15	1-15	1-15	1-15	1-15	Prueba preliminar
D 5002	Valor Mínimo (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
D 5001	Valor Mínimo (ppm)	16.0 a 1%	16.0 a 1%	16.0 a 1%	16.0 a 1%	16.0 a 1%	16.0 a 1%			
D 5007	Cap. 1 mes Muestra (ppm) (100%)	40	-	-	-	-	-	-	-	Clase 1 (Paso)
D 5008	Cap. 1 mes Muestra (ppm) (100%)	10	30	50	25	30	<100	<100	-	Clase 2 (Paso)
D 5009	Cap. 1 mes Muestra (ppm) (100%)	45	40	40	40	40	140	140	-	Clase 3 (Paso)
D 1500	Valor Mínimo (ppm)	25	25	25	25	5	1-15	1-15	-	
D 5011	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	-	
D 5012	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5013	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5014	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5015	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5016	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5017	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5018	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5019	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5020	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5021	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5022	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5023	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5024	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5025	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5026	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5027	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5028	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5029	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5030	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5031	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5032	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5033	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5034	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5035	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5036	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5037	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5038	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5039	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5040	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5041	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5042	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5043	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5044	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5045	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5046	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5047	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5048	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5049	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5050	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5051	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5052	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5053	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5054	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5055	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5056	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5057	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5058	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5059	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5060	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5061	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5062	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5063	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5064	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5065	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5066	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5067	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5068	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5069	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5070	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5071	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5072	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5073	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5074	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5075	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5076	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5077	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5078	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5079	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5080	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5081	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5082	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5083	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5084	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5085	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5086	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5087	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5088	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5089	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5090	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5091	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5092	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5093	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5094	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5095	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5096	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5097	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5098	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5099	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5100	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5101	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5102	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25	25	<100	<100	<100	
D 5103	Valor Mínimo (ppm)	40	25	25	25					

funcionamiento, un aparato similar a una clase de tensión más baja, si cumplen con los límites establecidos para esa clase, o pueden ser adecuados para purificación (Clase 2) o regeneración (Clase 3). Los aceites que no cumplan con los límites propuestos para la Clase 3 deben ser desechados a menos que el proceso de regeneración en uso puede restaurar los aceites a los límites establecidos en la Tabla No. 1.

4. TRATAMIENTO DE ACEITES DIELECTRICOS

Según el estado de arte actual, se recomienda las siguientes tareas de mantenimiento preventivo en el aceite relacionadas con su estado:

- Aceite en buenas condiciones para continuar su uso
- El aceite requiere un reacondicionamiento para continuar su uso (Purificación o Desgasificación)
- Aceite inhibido con disminución de contenido de inhibidor pero todas las otras características dentro los límites. Requiere una adición de inhibidores para extender el tiempo de vida.
- Aceite con azufre corrosivo. Requiere pasivación para evitar la corrosión.
- Aceite en malas condiciones que puede ser restituido a una condición satisfactoria por un proceso de Regeneración
- Aceite en tal condición que técnicamente se debe desechar.

Purificación Del Aceite

A continuación se presenta un esquema del proceso típico de purificación:

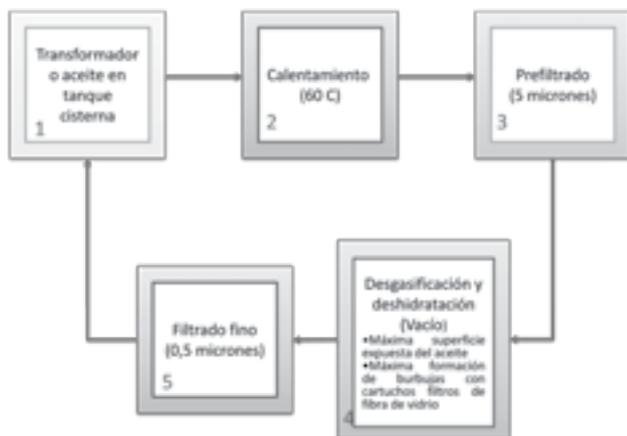


Figura 1. Esquema de funcionamiento Sistema de Purificación

Regeneración De Aceite

A continuación se presenta un esquema del proceso típico de regeneración:

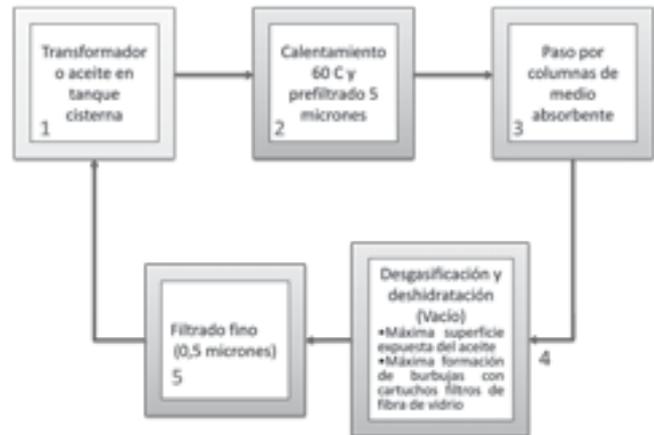


Figura 2. Esquema de funcionamiento Sistema de Regeneración

Ambos procesos, pueden ser ejecutados tanto en máquinas energizadas como en desenergizadas, y con la tecnología actual disponible es posible restaurar las propiedades fisicoquímicas aceptables o nuevas.

TDE cuenta desde la gestión 2003 con la Planta de Regeneración de Aceite Dieléctrico ENERVAC E575R y ha evidenciado su eficiencia en el proceso de más de 500.000 litros de aceite dieléctrico hasta la fecha.

Se aclara que desde el punto de vista de regeneración en aceites muy deteriorados, la regeneración de aceite siempre resulta factible; en cambio desde el punto de vista de la conservación de la vida del transformador, la regeneración de aceite sólo será factible si el grado de polimerización del papel aislante Kraft evidencia un valor superior a 500.

Valores experimentales obtenidos en un proceso de regeneración

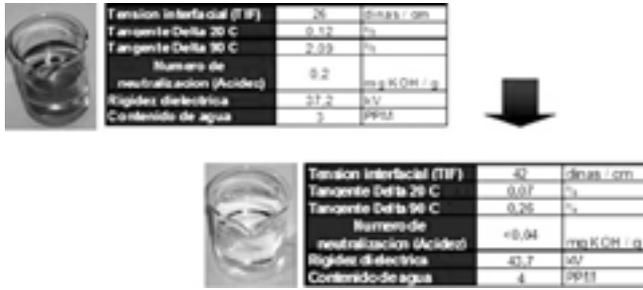


Figura 3. Resultados Típicos de un Proceso de Regeneración de Aceite

5. ADITIVOS EN LOS ACEITES, INHIBIDORES DE OXIDACIÓN

Quando se realiza el proceso de regeneración de aceite, son eliminados los productos ácidos además de los inhibidores naturales que fueron consumidos, por lo tanto es necesario agregar inhibidores sintéticos de oxidación. La proporción del inhibidor utilizado en el aceite depende de la cantidad de oxígeno disponible, contaminantes solubles, agentes catalizadores en el aceite y la temperatura del mismo.

Inhibidor Sintético DBPC

Un aditivo de inhibición que ha sido universalmente aprobado, es conocido químicamente como 2,6 ditertiary -butil paracresol, generalmente conocido como DBPC. Éste material es muy requerido y tiene excelentes propiedades que incluso en pequeñas concentraciones es un estable y efectivo antioxidante.

El DBPC es comercialmente disponible, se encuentra en una solución de aceite concentrado que debe ser disuelto o mezclado en aceite caliente del transformador antes de utilizarse, en una proporción típica de 0,3%. El DBPC no es polar e insoluble en agua.

6. FACTORES ECONÓMICOS

El costo de purificar o regenerar aceites puede variar considerablemente y depende del tipo de sistema, las operaciones de campo de inspección, y las instalaciones de laboratorio. En la determinación de regenerar o no un aceite

aislante, si es económicamente justificable, deben considerarse muchos factores, algunos de estos factores son los siguientes:

1. El costo de los materiales
2. Posibilidades de disposición final de aceites envejecidos o contaminados, o ambos
3. El costo total del proceso frente a la calidad del producto final
4. Equipo de mantenimiento y amortización
5. Costo de recolección y almacenamiento del aceite
6. Costo del trabajo y transporte
7. Los costos de laboratorio
8. Costo y disponibilidad de aceite nuevo frente a los costos de aceite reprocesado
9. Pérdida de aceite durante el reprocesamiento
10. El costo y la disponibilidad de inhibidores de la oxidación y el costo del proceso de mezcla
11. El costo del aceite envejecido si se usan con otros fines

La justificación económica de la regeneración o purificación, o ambos, es realizada por personal de la empresa o contratistas y deberá resolverse sobre la base de los factores aplicables en cada caso en particular.

A manera de ejemplo, puede observarse en la figura No. 4, la comparación entre el costo de la compra de aceite y la regeneración para TDE.

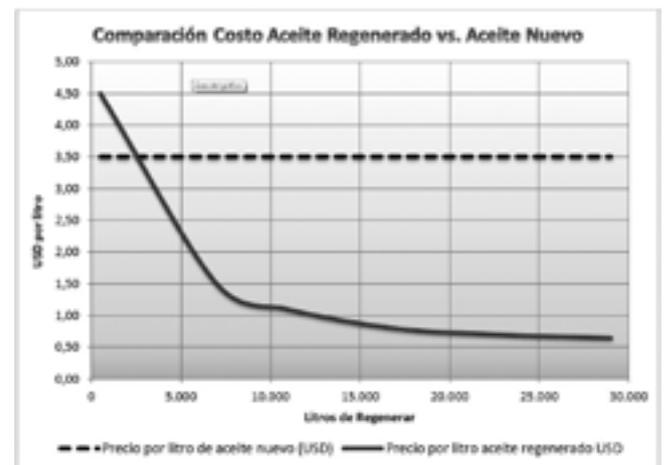


Figura 4. Comparación de Costo Típico Regeneración vs. Compra de Aceite (2011)

7. CONCLUSIONES

- De la evaluación de los resultados de los parámetros de las pruebas fisicoquímicas, surge la necesidad de realizar un tratamiento de purificación o regeneración de aceite a una determinada máquina.
- La frecuencia de realización de pruebas debe ser tal que permita al técnico estar seguro del correcto funcionamiento del transformador bajo análisis.
- Los resultados de las pruebas fisicoquímicas deben ir acompañados de pruebas de cromatografía de gases disueltos y cromatografía líquida para los contenidos furánicos, que darán un resultado integral del estado del transformador en análisis y las acciones correctas a seguir.
- La experiencia realizada, permite concluir que son posibles mantener los valores de acidez de los aceites en transformadores bajo un cierto valor, para asegurar una prolongada vida útil del aislamiento sólido, sin comprometer la disponibilidad de los equipos.
- El costo calculado para el proceso de regeneración del aceite es claramente ventajoso con relación al cambio de aceite para volúmenes mayores a los 4000 litros. (Para un volumen de unos 17,000 litros es aproximadamente un 37%).
- La ventaja de realizar la regeneración de aceite en máquinas energizadas, permite dar completa disponibilidad de los transformadores incluso en éste tipo de proceso.
- El impacto ambiental asociado al proceso de regeneración es mínimo, con relación al cambio de aceite, puesto que no es necesario el desechar el aceite usado y al hecho de no tener que disponer de un medio especializado para el desecho del medio absorbente.
- Es importante destacar, que todo proceso de regeneración debe ir acompañado de la medición de las propiedades fisicoquímicas,

que demuestren el avance y consecución de resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE Std C57.12.00-2000. IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers
- [2] IEEE Std C57.12.90-1999. IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers
- [3] IEEE Std C57.91-1995. IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers
- [4] IEEE Std C57.104-1991. IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers
- [5] IEEE Std. C57.119-2001. IEEE Recommended Practice for Performing Temperature Rise Tests on Oil-Immersed Power Transformers at Loads Beyond Nameplate Ratings
- [6] IEEE Std. C57.120-1991. IEEE Loss Evaluation Guide for Power Transformers and Reactors
- [7] IEEE Std. 637-1985. IEEE Guide for Reclamation of Insulating Oil and Criteria for Its Use
- [8] IEEE Std. 1538-2000. IEEE Guide for Determination of Maximum Winding Temperature Rise in Liquid-Filled Transformers
- [9] IEEE Std. 1276-1997. IEEE Guide for the Application of High-Temperature Insulation Materials in Liquid-Immersed Power Transformers



Marcelo Hinojosa Torrico

- o Formación académica:
 - Ingeniero Eléctrico – Sistemas de Potencia (UMSS)
 - Maestría en Gerencia Técnica Empresarial (UMSS)
 - Especialidad en Ingeniería de Mantenimiento (UMSS – CEIM Cuba)
 - Diplomado en Técnicas de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (UPB)
- o Ámbito de trabajo en Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.
- o Áreas de Mantenimiento, Operación, Comercial, Regulatoria, Diseño y Consultoría.
- o Amplia experiencia de trabajo en Bolivia, Perú y España.
- o Amplia experiencia docente de Pre y Post Grado.
- o Certificación Nivel I Termografía - "Asociación Internacional de Termógrafos".
- o Intensa participación en eventos de formación y actualización – CIGRE, IEEE y ASBOMAN.
- o Responsable Unidad de Mantenimiento de Subestaciones parte de la Gerencia de Mantenimiento de T.D.E. S.A.
- o Encargado Laboratorio de Aceites T.D.E. S.A.

Javá
Sistemas de iluminación

*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

REDES NEURONALES ARTIFICIALES BOOLEANAS

Paola Carranza Bravo

ABSTRACT

El desarrollo en la investigación de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) ha sido motivado e inspirado para crear modelos matemáticos y computacionales que simulen el comportamiento de las redes neuronales biológicas. La idea original del concepto de redes neuronales artificiales por tanto surge como un intento para comprender y explicar el funcionamiento del cerebro humano.

Se orienta a la implantación de comportamiento inteligente en sistemas de inteligencia artificial hacia la adquisición de la capacidad humana del aprendizaje, reconocimiento y clasificación de patrones en la cual hay una creciente tendencia a fabricar chips con la red neuronal diseñada directamente en forma de componentes electrónicos (hardware) con el consiguiente aumento de velocidad de proceso, decisión y clasificación.

REDES NEURONALES BIOLÓGICAS Y SU ANLOGÍA CON LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

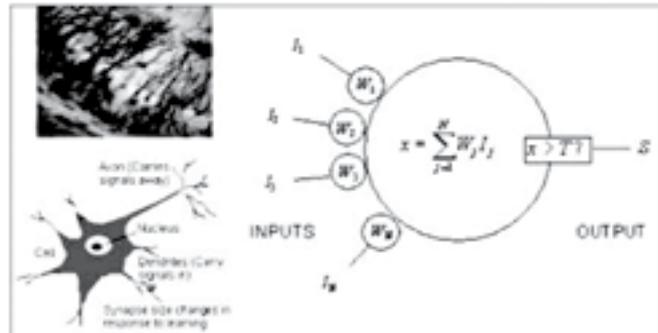
Nuestro CEREBRO posee millones de neuronas que se interconectan formando redes neuronales, que son las responsables de llevar a cabo procesos, se comunican entre sí mediante un proceso llamado sinapsis en el cual una neurona envía un neurotransmisor a otra produciendo un efecto de excitación o de inhibición en esta última.

Las redes neuronales se fundamentan en tres cualidades básicas del cerebro humano:

1. El conocimiento está distribuido en un (gran) número de neuronas en el cerebro.
2. Las neuronas se comunican (de manera local) unas con otras.
3. El cerebro es adaptable (puede aprender).

Una RED NEURONAL ARTIFICIAL es una implantación "máquina" de un algoritmo de aprendizaje inspirado en la forma en que el cerebro realiza una tarea de aprendizaje particular. Las RNA son capaces de "aprender" la relación existente entre sus entradas y salidas, y como su propio nombre indica están inspiradas en el modelo biológico. Al igual que el cerebro está formado por neuronas, las redes neuronales están formadas por pequeñas unidades centrales de proceso del mismo nombre que emulan su funcionamiento, y su comportamiento se basa en una simplificación matemática del esquema estímulo/respuesta de las neuronas.

La analogía y los paralelismos de la estructura de las neuronas con el esquema general de una red neuronal:



TOMA DE DECISIONES:

La red neuronal toma una decisión teniendo en cuenta las entradas proporcionadas y aplicando sobre ellas las correcciones adecuadas, lleva a cabo la clasificación. El conocimiento necesario en la tarea de aprendizaje y clasificación se proporciona en forma de muestras (generalmente etiquetadas) llamadas ejemplos de entrenamiento.

REDES NEURONALES BOOLEANAS (BNN)

Las redes neuronales booleanas difieren de las redes neuronales más tradicionales (como el ADALINE, el Perceptron, etc.) en que

usan elementos de lógica booleana como compuertas AND, OR, XOR como componentes básicos y simples que no están estructuralmente tan íntimamente ligadas a funcionamientos observados en la naturaleza, aunque también se emplean dispositivos más complejos como memorias, ya que éstas se pueden construir en base a puertas lógicas simples.

El hecho de que los componentes estructurales básicos sean elementos de lógica booleana significa que dichos elementos actúan en base a información y reglas lógicas (Ceros y unos), en lugar de hacerlo en base a la suma ponderada de las entradas (Números reales) como en las redes neuronales más tradicionales, por lo que las BNN también se suelen conocer como redes neuronales "sin pesos", como lo sugiere su nombre, no poseen pesos ajustables entre sus nodos. Estos modelos se caracterizan por presentar tanto **entradas como salidas binarias**; determinados como estados con neuronas conectadas o no conectadas. Las funciones que realiza cada neurona son almacenadas en tablas de búsqueda, que bien pueden ser implementadas al usar cualquier dispositivo, el aprendizaje en este tipo de redes neuronales se lleva a cabo al modificar los valores de las entradas en las tablas de búsqueda, con la posibilidad de ser implementadas en paralelo, lo que se traduce en algoritmos altamente flexibles y rápidos.

Por tanto la base se fundamenta en el uso de dispositivos de memoria RAM para llevar a cabo sus funciones. Este desarrollo surge con el trabajo de Bledsoe y Browning, proponen un método binario para el reconocimiento de patrones, llamado n-tupla, que es concebido como una memoria distribuida que almacena información a través de la cual se derivan subpatrones que están relacionados con determinadas clases.

Al realizar la clasificación de nuevos patrones, la clase de salida se define como aquella para la cual los patrones de aprendizaje son más comunes con el patrón presentado.

PROGRAMA DE BLEDSOE Y BROWNING

Ésta máquina es una red neuronal booleana basada en chips de memoria RAM, cuya misión consiste en reconocer un patrón determinado (o patrones que correspondan a éste con modificaciones "asumibles" que permitan que la semejanza entre ellos sea razonable como para identificar uno mediante el otro) y clasificar dicho patrón de entrada como perteneciente a uno de los conjuntos conocidos, establecidos y aprendidos en el proceso de entrenamiento.

EL NODO RAM

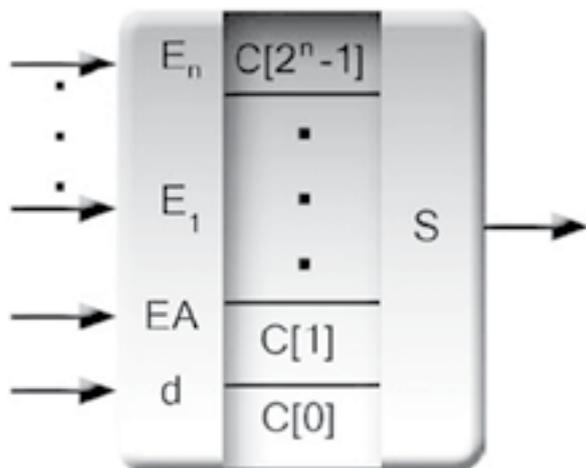
En las redes neuronales basadas en RAM, cada nodo RAM responde con un 1 solamente a manera que si se le presenta un patrón desconocido (que no está contenido en la red), éste se clasificará en la misma clase del conjunto de aprendizaje en donde todas las salidas posibles de las RAM entreguen un 1 como resultado.

Esta arquitectura divide el conjunto de todos los posibles patrones en aquellos en los que puede darse la generalización y en los que no. Si se llegasen a requerir más de 2 clases, el camino a seguir será utilizar en conjunto varias redes basadas en RAM. Cada una de estas redes deberá ser entrenada para responder ante una clase de patrón.

Este método basa su funcionamiento en el principio de que el proceso de aprendizaje para reconocer un patrón puede verse como el conjunto de funciones lógicas que describan algún problema.

Las funciones lógicas mencionadas, evaluarán como verdaderos a todos los patrones que pertenezcan a la clase que esté representada por dicha función, y como falso a todas las demás clases.

Para patrones desconocidos, el conjunto de funciones lógicas que tenga la mayoría de funciones evaluadas verdaderas, indicará la clase de dicho patrón.



E_n : Líneas de Direcciones
 $C[E]$: localidades de memoria
 EA: Estrategias de Aprendizaje
 n: Número de Entradas
 d: Entrada de Datos
 S: Salida de Datos

WISARD:

Tipo de red neuronal booleana cuyo nombre debido a las iniciales de las personas que lo crearon: "Wilkie, Stonham and Alexander's Recognition Device".

Es una extensión de una máquina de Bledsoe y Browning en 1959 que emplea conjuntos de memorias direccionables para reconocer patrones, por lo que comenzaremos explicando el principio de funcionamiento de ésta máquina aplicándola a un modelo sencillo.

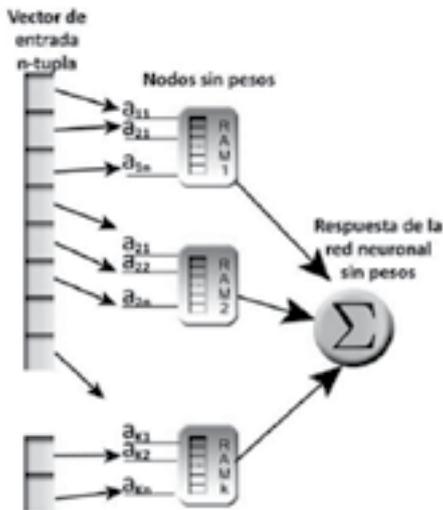
WISARD ESTRUCTURA FUNCIONAL:

1. Reciben como entrada una matriz de píxeles que conforman la imagen del patrón de entrada (tanto durante el entrenamiento como en el posterior proceso de reconocimiento).

2. El núcleo de la red está compuesto por memorias RAM, y como tales los bits que almacenan están organizados en direcciones (filas) pudiéndose adicionalmente direccionar por posiciones dentro de cada dirección de memoria (columna).
3. Los píxeles de la imagen de entrada se agrupan (de forma aleatoria) en grupos, todos ellos con el mismo número de píxeles. Dichos grupos, en el caso general de conjuntos de n píxeles, son conocidos como n-tuplas.
4. La combinación binaria formada por la información contenida en los píxeles de cada grupo sirve para escribir la información relativa a esa imagen particular en la columna correspondiente de todas las memorias (cada "columna" corresponde a un grupo de clasificación que es lo que en esencia queremos diferenciar, por lo que también se conocen como "discriminadores"). Así, el discriminador WISARD es capaz de clasificar patrones desconocidos de acuerdo con el conocimiento adquirido en esta fase.
5. Comparando los resultados de las columnas resultado del entrenamiento con la salida proporcionada por la red cuando trabaja sobre una muestra sin clasificar y que ha de reconocer, se clasifica esa muestra en el grupo con el que tenga el mayor número de bits coincidentes.

RED NEURONAL WISARD

Implementa máquinas n-tupla, y a su vez, utiliza grupos de nodos RAM denominados discriminadores de clase por el hecho de poder ser entrenados para elegir a la clase a la que pertenece cada una de las entradas. Estos discriminadores se conforman de una capa de k RAMs con n entradas cada una. Cada RAM almacena 2n palabras de 1 bit



Funcionamiento Ilustrativo: Aplicado al reconocimiento de patrones, en el que se aprecia el principio de funcionamiento de este tipo de redes.

Esquema de Reconocimiento de un dígito ya que nos permite tener un modelo de tamaño muy reducido (muy pocos píxeles).

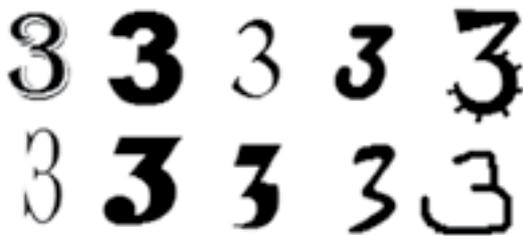
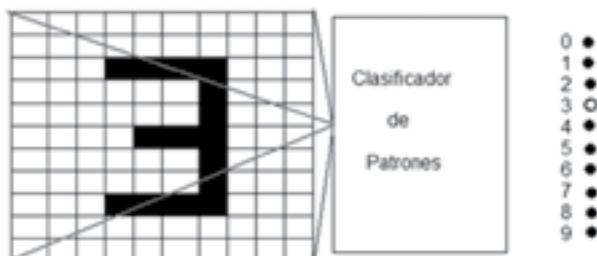
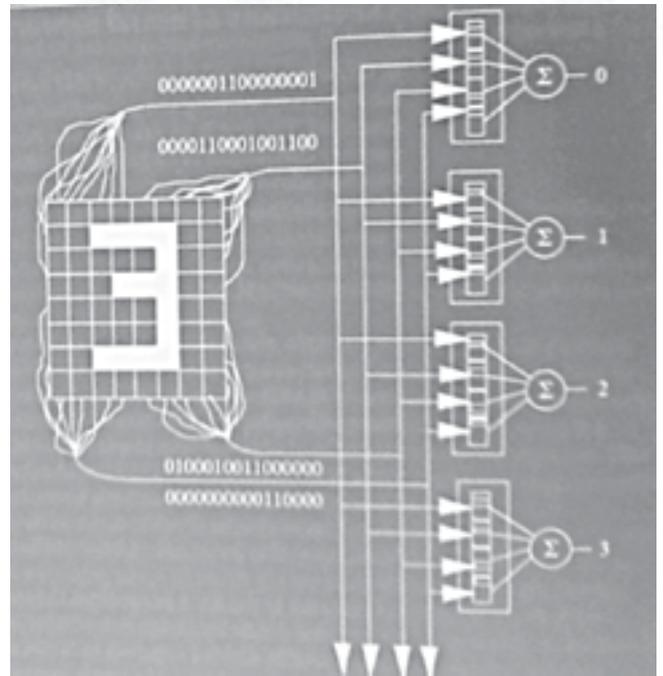


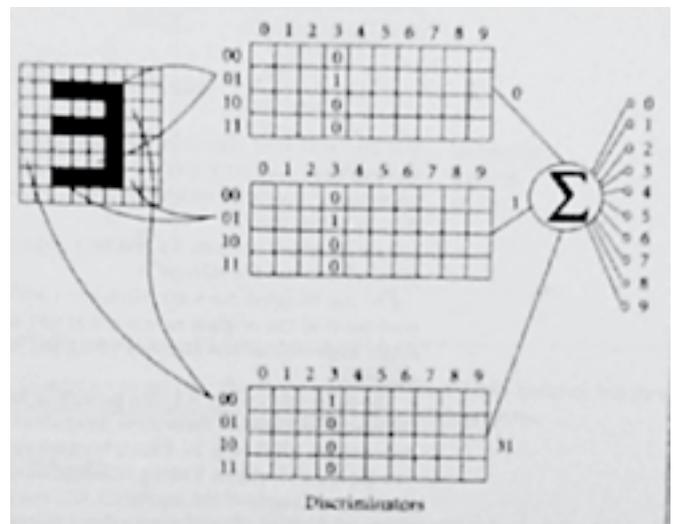
Diagrama de Bloques de un patrón de Clasificación



Entrenamiento de clasificación del número 3 mediante WISARD



Solución BLEDSOE Y BROWNING



Consideramos como entrada una cuadrícula de píxeles correspondiente a la imagen de un dígito (0→9) en blanco y negro de dimensiones 8x8 píxeles a reconocer.

Tenemos que conectar de forma aleatoria todos los píxeles de nuestra imagen, agrupados de una forma conveniente, a los chips de memorias, de forma que conseguimos un mapeo entre píxeles y direcciones de memoria.

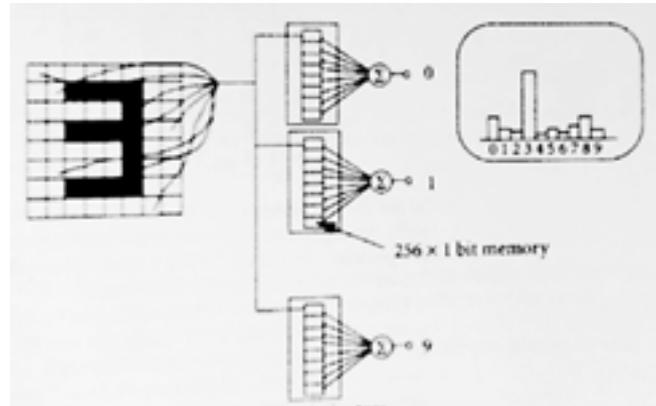
Dado que tenemos 64 píxeles en total, y si agrupamos los píxeles por parejas de forma que no haya solapamientos en las asignaciones, formaremos 32 "agrupaciones" de parejas de píxeles.

Como cada píxel puede tomar los valores 0 o 1 (blanco o negro respectivamente), una pareja de bits codifica $2^2=4$ valores (00, 01, 10, 11). De esta forma, vemos que necesitamos 32 memorias con 4 direcciones (filas) cada una ya que cada pareja de píxeles requerirá 4 direcciones de memoria para poder así representar sus 4 posibles valores a que da lugar la decodificación de los 2 bits. Además, debido a que tenemos 10 grupos de clasificación porque tenemos 10 posibles dígitos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), necesitamos que cada dirección tenga diez posiciones (tantas como posibles grupos de clasificación).

Durante el entrenamiento se le muestran al sistema varios ejemplos de cada número, de forma que para cualquier ejemplo en particular las 32 memorias tienen un 1 en la dirección (fila) determinada por la codificación de los valores de la pareja de píxeles y en la posición (columna) correspondiente al número del que se trate (el que se está mostrando en ese momento).

Tras el entrenamiento un número a reconocer es mostrado a la entrada y las salidas de las 32 memorias se comparan con las resultantes del proceso de entrenamiento, sumándose los aciertos por columnas (hay una columna por cada dígito: "discriminadores"). Por tanto las 10 salidas pueden variar entre 0 y 32, y el dígito seleccionado como el reconocido será el que tenga el mayor valor de esta suma (los empates podrían resolverse aleatoriamente, aunque no sería conveniente llegar a tal situación de duda en el reconocimiento).

La memoria utilizada para este caso particular es sorprendentemente pequeña, ocupándose un total de 1280 bits.



Solución WISARD del problema de Clasificación

Consideramos como entrada una cuadrícula de píxeles correspondiente a la imagen de un dígito (0→9) en blanco y negro de dimensiones 8x8 píxeles a reconocer.

Tenemos que conectar de forma aleatoria todos los píxeles de nuestra imagen, agrupados de una forma conveniente, a los chips de memorias, de forma que conseguimos un mapeo entre píxeles y direcciones de memoria.

Dado que tenemos 64 píxeles en total, y si agrupamos los píxeles por parejas de forma que no haya solapamientos en las asignaciones, formaremos 32 "agrupaciones" de parejas de píxeles.

Como cada píxel puede tomar los valores 0 o 1 (blanco o negro respectivamente), una pareja de bits codifica $2^2=4$ valores (00, 01, 10, 11). De esta forma, vemos que necesitamos 32 memorias con 4 direcciones (filas) cada una ya que cada pareja de píxeles requerirá 4 direcciones de memoria para poder así representar sus 4 posibles valores a que da lugar la decodificación de los 2 bits. Además, debido a que tenemos 10 grupos de clasificación porque tenemos 10 posibles dígitos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), necesitamos que cada dirección tenga diez posiciones (tantas como posibles grupos de clasificación).



Paola Carranza Bravo

Licenciada en Ingeniería de Sistemas (**Escuela Militar de Ingeniería**). La Paz – Bolivia

- Postgrado año académico 2002 – 2003, (Universidad de Cardiff), Gales- Reino Unido.
- Estudios Proyecto Europeo ALFA (América Latina Formación Académica) “Novel Intelligent and Control Systems -2 (NIACS2)” Centro de ingeniería Manufacturera. (Universidad de Cardiff, Gales-Reino Unido, 2004-2005)
- Maestrante “Seguridad en Tecnologías de la Información” (Escuela Militar de Ingeniería 2012-2013)
- Docente de Inteligencia Artificial (Universidad Católica Boliviana)
- Docente de Inteligencia Artificial – Sistemas Expertos en Gestión (Universidad La Salle)



GMZBOL

**INGENIERIA
MULTIDISCIPLINARIA**

**REPRESENTACIONES
DISEÑO Y MONTAJE**

*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

Navidad



Entrega de canastones a los proyectistas

Ing. Oscar Pari e Ing. Jorge Gutiérrez



Ing. Rogelio Choque e Ing. Reynaldo Castañón

Ing. Ciro Levy e Ing. Carlos Valda

Ing. Eugenio Zenteno e Ing. Jorge Gutiérrez

Brindis Fin de Año

2013



Brindis de Fin de Año

Entrega de regalos a los presentes



Brindis por el Año Nuevo

ALASITAS



Presentación revista Electromundito 68.5

Recordando nuestra tradición



Brindis de los Asistentes

Brindis de los Asistentes

ASAMBLEA NACIONAL EXTRAORDINARIA DEL COLEGIO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS Y ELECTRÓNICOS DE BOLIVIA CIEE- B (Cochabamba Enero 2.013)



Delegados participantes de los colegios departamentales de Santa Cruz, Oruro, La Paz, Chuquisaca y los anfitriones de Cochabamba.

El Directorio del CIEEB preside la Asamblea.



Entrega de recuerdos por parte de los anfitriones.

CARNAVAL 2013



Principio de la Fiesta



Directorio del CIEE dando la bienvenida



Empiezo de la Challa a cargo de los padrinos

Los nuevos prestes para el año 2014



Roberto López y Sra. prestes 2013

A Bailar se dijo...

PRODUCTOS ELECTRICOS Y AUTOMATIZACION WEG

Electroindustrial S.R.L.

INTRODUCCION

Electroindustrial S.R.L. una empresa especializada en la importación y distribución de materiales eléctricos en general, contamos con un amplio stock de productos, que nos permite solucionar los requerimientos de nuestros clientes y la industria nacional, comercializamos productos de marcas certificadas y líderes en el mercado; disponemos de una excelente atención y un adecuado asesoramiento por medio de nuestro personal técnico.

El objetivo del presente artículo, es dar a conocer a nuestros clientes y la industria nacional las características generales en la línea de automatización y control de la marca WEG.

ESTO ES WEG

El camino del éxito empresarial de Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva y Geraldo Werninghaus comenzó el 16 de Septiembre de 1961 cuando los tres fundaban la empresa Electromotores Jaraguá. Años más tarde, la empresa creada por un electricista, un administrador y un mecánico cambiaría su razón social para "Electromotores WEG S.A."- El nombre es la feliz combinación de las iniciales de sus tres fundadores.

La trayectoria de la empresa a lo largo de estos años es caracterizada por el éxito. Como mayor fabricante latinoamericano de motores eléctricos y uno de los mayores en el mundo, WEG actúa en los sectores de comando y protección, variación de velocidad, automatización y procesos industriales, generación y distribución de energía y pinturas y barnices industriales.

La producción y las principales unidades de fabricación se concentran en Jaraguá do Sul, Santa Catarina. Sus otras fábricas se encuentran dispersos en Rio Grande do Sul (Gravesend),

Santa Catarina (Blumenau, Guarimir, Itajaí y Joaçaba), São Paulo (São Paulo, São Bernardo do Campo y Monte Alto), Amazonas (Manaus), Espírito Santo (Linhares). En el exterior, WEG cuenta con plantas de producción en Argentina, México, Estados Unidos, Austria, Portugal, Sudáfrica, China e India.

Produciendo inicialmente motores eléctricos, WEG empezó a ampliar sus actividades a partir de la década del 80, con la producción de componentes electroelectrónicos, productos para automatización industrial, transformadores de corriente y distribución. Cada vez más la empresa se está consolidando no solo como fabricante de motores, sino como proveedor de sistemas eléctricos industriales completos y a partir del año 2000, con la adquisición de plantas en el exterior, WEG asume definitivamente el puesto de multinacional.

• PRODUCTOS PARA TABLEROS DE DISTRIBUCION

Interruptores Termomagnéticos MDW

- ✓ Tensión nominal de operación U_e : 400Vac
- ✓ Corrientes nominales I_n : 2 a 100A
- ✓ Capacidad de interrupción de cortocircuito I_{cs}/I_{cn} : 3kA (MDW) y 10kA (MDWH)
- ✓ Curvas de disparo: B y C
- ✓ Numero de polos: 1P, 2P y 3P



Interruptores en Caja Moldeada DW

- ✓ Tensión nominal de operación U_e : 690Vac
- ✓ Protección termomagnética fijo DWB. Rango: 16 a 160A
- ✓ Protección termomagnética ajustable DWA. Rango: 100 a 1600A
- ✓ Numero de polos: 3P



Interruptores Abiertos ABW

- ✓ Solución completa para protección de circuitos eléctricos de alta potencia
- ✓ Corrientes nominales hasta 5000 A
- ✓ Disponibles en dos versiones: fijos y extraíbles
- ✓ Alta capacidad de interrupción de cortocircuito
- ✓ Unidad de protección electrónica
- ✓ Completa línea de accesorios



• PRODUCTOS PARA ARRANQUE DE MOTORES

Minicontactores CWCO

- ✓ Maniobra en régimen AC-3 hasta 25A
- ✓ Líneas con mando CA y CC con las mismas dimensiones
- ✓ Permite funcionamiento en Régimen AC-4
- ✓ Bobina de bajo consumo en corriente continua.



Contactores de Potencia CWM y Relés de Sobrecarga RW

- ✓ Línea completa (9 hasta 105A / AC-3)
- ✓ Contactores tripolares (hasta CWM 105)
- ✓ Montaje rápido en riel DIN35 mm
- ✓ Montaje directo a los relés de sobrecarga
- ✓ Relés de sobrecarga con sensibilidad a falla de fase conforme norma IEC60947-4-1
- ✓ Posibilidad de instalación de los relés separados de los contactores a través de bases de fijación individuales



Guardamotores MPW

- ✓ Solución para protección del circuito eléctrico y arranque/protección de motores hasta 40HP a 220V y 75HP a 380/400V
- ✓ Disparador térmico ajustable para la protección del motor contra sobrecarga, dotado de mecanismo diferencial con sensibilidad a falla de fase, conforme a norma IEC 60947-4-1
- ✓ Disparador magnético (protección de cortocircuito) fijo a $12 \times I_n$



Arrancadores Directos DLW

- ✓ Arranques directos trifásicos en caja termoplástica hasta 40HP a 230V y 75HP a 380/440V y arranques directos monofásicos
- ✓ Arranques estrella triangulo en caja termoplástica hasta 25HP a 220V y 40HP a 380V, ESDW
- ✓ Grado de protección: IP65



• PRODUCTOS PARA CONTROL Y PROTECCION DE MOTORES

• CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

CFW08

- ✓ Potencia: 0.25 a 20HP (0.18 a 15kW)
- ✓ Tensión 200...240V y 380...460V
- ✓ Control V/F (escalar) o vectorial sensorless
- ✓ Modulación PWM senoidal – Space Vector Modulation
- ✓ Filtros RFI (opcional)
- ✓ Comunicación Modbus RTU (incorporada), CANopen, Device Net y Profibus DP (opcional)
- ✓ Regulador PID
- ✓ Control con DSP
- ✓ Panel de control con teclado de membrana táctil (HMI estándar y remota)



CFW10

- ✓ Potencia: 0.25 a 5HP (0.18 hasta 4kW)
- ✓ Tensión: 200...240V
- ✓ Alimentación monofásica y/o trifásica
- ✓ Modulación PWM senoidal (V/F lineal o cuadrático)
- ✓ Módulos IGBT de última generación y electrónica con componentes SMD
- ✓ Regulador PID
- ✓ Control DSP
- ✓ Dimensiones compactas, instalación y operación sencilla
- ✓ Potenciómetro para ajuste de velocidad (opcional)



CFW11

- ✓ Potencia: 1 a 450HP
- ✓ Tensión: 220...240V, 380...480V
- ✓ Interfaz Hombre Máquina – IHM – con pantalla gráfica, backlight
- ✓ Filosofía conecte y use
- ✓ Conexión USB
- ✓ Grande variedad de accesorios de control:
- ✓ Tarjeta de expansión I/Os (digitales y analógicas), tarjeta de encoder, de comunicación, con función de PLC y tarjetas de control de posición
- ✓ Comunicación: Profibus, DeviceNet, CANopen, Ethernet/ IP, Modbus RTU



• **ARRANCADORES SUAVES**

SSW05

- ✓ Potencia: 0.75 a 75HP (0.55 a 55kW)
- ✓ Tensión: 220 a 575V
- ✓ Bypass incorporado
- ✓ Control con DSP
- ✓ IHM remota (opcional)
- ✓ Protecciones del motor incorporadas
- ✓ Regulador PID
- ✓ Control DSP
- ✓ Temperatura ambiente hasta 55°C



SSW07

- ✓ Potencia: 6 a 200HP
- ✓ Tensión: 220 a 575V
- ✓ Bypass incorporado
- ✓ Elevado régimen de arranques
- ✓ Control total en las tres fases
- ✓ Protección del motor y de arrancador incorporada
- ✓ Función programable de "Kick-Start" para arranques con elevada fricción estática
- ✓ IHM remota
- ✓ Producto muy compacto
- ✓ Apto a operar en 55°C sin derrateo



SSW06

- ✓ Potencia: Conexión estándar: 3 a 1250HP, Conexión dentro del delta: 30 a 2000HP
- ✓ Tensión: 220 a 575V
- ✓ Bypass incorporado
- ✓ IHM extraíble con pantalla doble (LED/LCD)
- ✓ Función "Kick-Start"
- ✓ Control de par
- ✓ Función "pump control" para control inteligente de sistemas de bombeo
- ✓ Protecciones de motor incorporadas
- ✓ Operación en ambientes hasta 55°C



• **PRODUCTOS PARA MANDO, SEÑALIZACION Y CONEXIONES**

Mando y Señalización

- ✓ Llaves selectoras de 2 y 3 posiciones CK/CA
- ✓ Señalización compacta o modular CEW/CSW
- ✓ Botoneras de comando o emergencia BF/BCI
- ✓ Pulsadores dobles con bloque de iluminación integrado BD
- ✓ De acuerdo con IEC/EN 60947-5-1
- ✓ Sistema de montaje rápido y fácil
- ✓ Diámetro: 22mm
- ✓ Grado de protección IP66



Terminales Tipo Tornillo – Línea BTWP

- ✓ Línea completa de 2,5 a 240mm²
- ✓ Entrada de los cables con formato cónico para facilitar la inserción

Terminales con Resorte – Línea BTWM

- ✓ Línea de 2,5 a 10mm²
- ✓ Resorte de acero inoxidable
- ✓ Presión de contacto uniforme



• RELES ELECTRONICOS

Temporizadores y Protectores Electrónicos

- ✓ Protectores electrónicos contra falta de fase RPW FF, secuencia de fase RPW SF, falta y secuencia de fase en un solo producto RPW FSF y protección contra bajo y sobre voltaje RPW SS.
- ✓ Temporizadores RTW de 0.2 segundos hasta 150 horas con 9 funciones de temporización
- ✓ Temporizador para arranque estrella/triángulo RTW-ET
- ✓ Relés para control de nivel RNW



• PRODUCTOS PARA CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

Controlador Automático PFW01

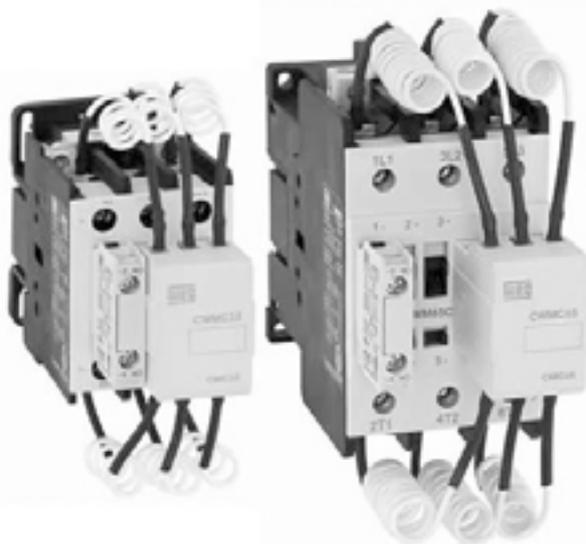
- ✓ Tensión de alimentación: 90 a 270Vac
- ✓ Tensión de medición: 50 a 500Vac
- ✓ Modo de operación: Automático o manual

- ✓ Display de cristal liquido
- ✓ Grado de protección frontal: 10VA
- ✓ Numero de pasos: 6 y 12



Contadores para Maniobra de Capacitores CMMC

- ✓ Disponible para banco de capacitores hasta 50kVAR / 380V
- ✓ Línea de accesorios modulares comunes a línea CWM
- ✓ Indicado en todas las aplicaciones de maniobras de capacitores



Capacitores Trifásicos UCW-T

- ✓ Ideal para corrección localizada/individual de motores:
- ✓ 0,5 a 15kVAR en 220V
- ✓ 0,5 a 25kVAR en 380/440/480V
- ✓ Resistores de descarga incorporados internamente
- ✓ Capa de protección para conexiones



Para sistemas de automatización, WEG cuenta con productos como relés de control, PLCs, HMIs, servomotores, servo convertidores y otros productos. Lo invitamos a visitar la siguiente página web para obtener mayor información acerca de estos productos: <http://www.weg.net>



electroindustrial S.R.L.
materiales eléctrico-industriales

La Paz

Calle Almirante Grau N° 187
(entre Murillo y Mcal. Santa Cruz)
Teléfonos: 591-2-2900964 / 2004582
Telf. Fax: 591- 2-2900974

El Alto

Calle Jorge Carrasco N° 50
entre Calles 6 Y 7
Celular: 70681852 - 72581106 - 70638395
E-mail: elalto@electroindustrial.com.bo

info@electroindustrial.com.bo / www.electroindustrial.com.bo

*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

LOS RIESGOS ELÉCTRICOS – SISTEMAS DE GESTIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL (Primera Parte)

Ing. Benjamín N. Mamani Laruta.

1. INTRODUCCIÓN

Los riesgos eléctricos están asociados con los efectos de la electricidad y en su mayor parte están relacionados con el empleo de las instalaciones eléctricas. Las citadas instalaciones están integradas por elementos que se utilizan en la Generación, Transmisión (Transporte) y Distribución (uso) de la energía eléctrica. Sin embargo también existen riesgos por la aparición de fenómenos eléctricos relativamente fortuitos como pueden ser las descargas atmosféricas o las descargas electrostáticas.

Los riesgos eléctricos afectan tanto a las personas como a las infraestructuras (Ingeniería civil, edificaciones e instalaciones).

Los riesgos debidos a las instalaciones eléctricas pueden reducirse si se actúa correctamente en las diferentes fases del proceso que transcurre desde la creación hasta la destrucción de las mismas.

- ☞ Diseño
- ☞ Ejecución (montaje) Mantenimiento
- ☞ Uso
- ☞ Desmantelamiento (desmontaje)

Como ocurre con otros tipos de riesgos la Ingeniería de Seguridad aplicada a los riesgos eléctricos, tiene por objeto reducir al máximo los mismos actuando en las fases mencionadas.

En este Trabajo se hará especial hincapié en los riesgos eléctricos para las personas considerando tanto los efectos inmediatos como los mediatos. Se analizarán diferentes tipos de riesgos y los métodos para eliminarlos o reducirlos, haciendo mención de la reglamentación (normativa) existente.

Es fundamental para la eliminación y reducción de riesgos que se contemple desde un primer momento, antes de comenzar el diseño de una instalación eléctrica, el destino y uso de la misma, solo de esta forma se logrará el objetivo previsto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como señalan las estadísticas, las instalaciones eléctricas inadecuadas aparecen entre las principales causas de incendios en el mundo entero considerando las lesiones provocadas por contactos directos o indirectos. Por eso, nunca estará de más afirmar que la estructura de los sistemas eléctricos merece ser cuidadosamente observada y comprendida, a fin de minimizar riesgos y economizar energía.

En consideración a la documentación (Normas, Leyes entre otros) existente en nuestro medio y así mismo a la información referida al Riesgo Eléctrico en general se aprecia la deficiencia que se tiene en algunos puntos omitidos en nuestro medio.

Siendo entonces el trabajo **“LOS RIESGOS ELÉCTRICOS – SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL”**, un análisis referido a los aspectos generales del uso de la energía eléctrica y sus peligros en diferentes áreas, así mismo se plantea como mejoras a lo establecido, las soluciones y planteamientos extraídos de varios artículos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERALES

El Análisis de las Normas, Leyes y Reglamentos existentes en nuestro país referido al Riesgo Eléctrico y su minimización como también el como poder actuar al presentarse una situación con un accidentado con la Energía Eléctrica.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se establecen los siguientes objetivos específicos:

- ☞ Conocer los daños causado por la energía eléctrica en las personas.
- ☞ Conocer los riesgos de la electricidad.

- ☞ Analizar las causas de los incidentes y accidentes de trabajo, relacionados con el contacto con corriente eléctrica y proponer medidas para prevenirlos.
- ☞ Elementos de prevención y minimización del riesgo eléctrico.
- ☞ Ayudar al personal de trabajo y a las personas en general a prevenir este tipo de pérdidas.

4. DAÑOS CAUSADOS POR LA ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1. DAÑOS A LAS PERSONAS

Los accidentes eléctricos representan un porcentaje bajo respecto a los debidos a otras causas.

Considerando que la electricidad está presente en todo tipo de actividades humanas.

Algunos accidentes podrían evitarse si se utilizan los Equipos de Protección Personal (EPP) y las herramientas adecuadas.

La gravedad de los accidentes es mayor en alta tensión.

Los daños que puede causar la electricidad pueden clasificarse de la siguiente forma:

- ☞ Causados por el paso de la corriente a través del cuerpo humano.
- ☞ Causados por la presencia de campos electromagnéticos.
- ☞ Por otras causas.

4.1.1. DAÑOS CAUSADOS POR EL PASO DE LA CORRIENTE A TRAVÉS DEL CUERPO HUMANO

La causa fundamental de daños producidos por la electricidad es el paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano. Para que circule intensidad a través del cuerpo humano es necesario que entre dos partes del mismo exista una tensión (o diferencia de potencial).

Por el hecho de que el cuerpo humano en su conjunto esté a una tensión diferente de otra existente en algún objeto de su entorno, del que se encuentre eléctricamente aislado, no hay riesgo de daños causados por el paso de la

corriente, aparece un riesgo debido a los efectos del campo eléctrico correspondiente.

a) INMEDIATOS

Contracción muscular, que puede provocar caídas, que a su vez pueden causar: Impacto, cortes, quemaduras (por contacto con zonas calientes), entre otros, Incremento de la corriente (por la invasión de una zona más peligrosa).

Dificultad de respiración, que puede provocar asfixia. Perturbaciones en el corazón, que pueden ser: Fibrilación ventricular. Produce un movimiento anormal del corazón que provoca la pérdida de presión sanguínea.

Fibrilación auricular. Parada cardiaca. Como consecuencia de la falta de circulación de la sangre se produce la muerte de las células cerebrales por falta de oxígeno (anoxia).

Aumento de la presión sanguínea.

Quemaduras en las zonas de paso de la corriente. La causa principal de muerte se considera la fibrilación ventricular. En algunos casos aparecen también como causas la parada cardiaca y la asfixia.

b) SECUNDARIOS

En referencia a los daños de un contacto con la electricidad se tiene: Cerebrales, Circulatorios y Renales.

4.1.2. DAÑOS CAUSADOS POR LA PRESENCIA DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Los efectos de los campos electromagnéticos sobre el cuerpo humano han sido objeto de preocupación y alarma social creciente en las últimas décadas. Los campos electromagnéticos y sus efectos están relacionados con su frecuencia. Entre 0 y 10 KHz los campos eléctricos y magnéticos deben considerarse por separado. Existen efectos a corto plazo bien establecidos, dependientes de la frecuencia como:

- ☞ La estimulación de células nerviosas y musculares
- ☞ El calentamiento.

a) EFECTOS DIRECTOS.

Un campo eléctrico induce una carga en la

superficie de un cuerpo expuesto, que puede provocar cosquilleo de la piel, vibración del vello y pequeñas descargas electrostáticas. Los campos magnéticos variables inducen en el interior del cuerpo tensiones que a su vez dan lugar a corrientes. La corriente inducida puede estimular los nervios o el tejido muscular.

Los campos electromagnéticos pulsados pueden producir otro tipo de efectos como percepción auditiva de pulsos de microondas además de aquellos asociados a la radiación de la onda. Pueden tener también efectos indirectos como quemaduras por tocar objetos calentados por efectos de los campo electromagnéticos. **La Norma experimental ENV 50166** establece restricciones básicas para evitar las consecuencias nocivas de los efectos de los campos. No es frecuente que aparezcan campos con la magnitud y frecuencia necesaria para que induzcan tensiones en el interior del cuerpo humano que provoquen intensidades inducidas peligrosas. En la tabla siguiente se indican los efectos en función de las densidades de corriente inducidas.

Tabla 1. Efectos de las densidades de corriente inducidas.

Densidad de Corriente Inducida (mA/m ²)	EFFECTOS
<1	Ausencia de efectos establecidos
1-10	Efectos biológicos menores
10-100	Efectos bien establecidos, visuales (magnetofosfenos) y posibles efectos sobre el sistema nervioso, informes de mejora en la consolidación de fracturas óseas
100-1000	Cambios comprobados en la excitabilidad del sistema nervioso, central; umbrales de estimulación; posibles peligros para la salud
>1000	Estrastroles, posibilidad de fibrilación ventricular, peligros para la salud comprobados

En el caso de campos magnéticos débiles no se disponen hasta el momento de resultados concluyentes que permitan cuantificar sus efectos sobre la salud humana en función de la frecuencia, la intensidad y el tiempo de exposición. Es decir, no está por el momento demostrado que la exposición a campos magnéticos que no den lugar a corrientes inducidas peligrosas presente un riesgo para la salud.

b) EFECTOS INDIRECTOS

Resultan del acoplamiento de un campo eléctrico

o magnético con un objeto como una estructura metálica, que por las tensiones inducidas, puede provocar efectos directos sobre el cuerpo humano como consecuencia de descargas y quemaduras.

4.1.3. POR OTRAS CAUSAS

Por arcos. Se pueden producir quemaduras en la cara, manos y vista (constituyen el porcentaje mas alto de lesiones).

Por aumento de la temperatura. Se pueden producir quemaduras (en las manos principalmente).

Por accionamientos imprevistos de maquinas accionadas o controladas por energía eléctrica. Se pueden producir contusiones, heridas, roturas de huesos, entre otros.

4.2. DAÑOS DE OTROS TIPOS

Los incendios, provocados por cortocircuitos (motivados generalmente por un funcionamiento incorrecto de las instalaciones) son uno de los daños mas frecuentes. En numerosas ocasiones se atribuye el origen de un incendio a un cortocircuito, pero habitualmente el cortocircuito no es sino un paso más (el mas llamativo) en el proceso que desencadena el incendio. Es normal que el cortocircuito se produzca por un calentamiento excesivo previo de elementos aislantes hasta alcanzar su punto de fusión, produciéndose a continuación el cortocircuito. Los motivos del calentamiento pueden ser muy diversos; la obstrucción de la ventilación, el fallo de los sistemas de protección, o bien pudieran en algunos casos deberse a errores de mantenimiento, ejecución o hasta de diseño.

Otros daños típicos son las averías de equipos, motivadas por sobretensiones atmosféricas y/o de maniobra.

También se producen incendios o explosiones motivadas por la presencia de atmósferas inflamables o explosivas ante elementos con temperatura elevada (producida por la electricidad) o arcos eléctricos.

METODOS DE CÁLCULO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Ing. Jorge Gutiérrez Tejerina.

RESUMEN.-

El método de cálculo de la resistividad del terreno, se constituye en una herramienta valiosa para determinar la resistividad aparente de una porción de terreno donde se pretende construir un sistema de puesta de tierra. La resistividad del terreno se ve influenciada por varios factores y todos los modelos descritos tienen el propósito de lograr obtener un modelo de terreno que tenga aproximación con un terreno real, por lo tanto un modelo perfecto de tierra es improbable.

Dependiendo de los registros obtenidos y un análisis pormenorizado de los resultados, podemos utilizar uno de los siguientes métodos, valor promedio o valor medio, el método estadístico Box-Cox o los métodos analíticos que utilizan la información gráfica de los cambios de la resistividad de acuerdo a la separación de los electrodos del equipo de medición, método gráfico de Sunde, modelo de Tagg.

Desde el punto de vista técnico, se ha encontrado que el modelo de dos capas es una buena aproximación, aunque las mediciones revelen en el terreno la existencia de estructuras más complejas.

INTRODUCCION.-

El dimensionamiento de los sistemas de tierra, se constituye en un componente importante en las instalaciones eléctricas de potencia como de telecomunicaciones. La puesta de tierra es el medio para que la corriente eléctrica circule de una manera eficiente, segura y económica.

Para implementar los sistemas de tierra, los Ingenieros Electricistas utilizan diversas técnicas de dimensionamiento, los componentes que debemos conocer o determinar son la resistividad del terreno, el tipo y forma geométrica de las los electrodos y los componentes de conexión con

la instalación.

La resistividad del terreno, es la primera información que debemos conocer para dimensionar correctamente un sistema de puesta de tierra, el valor cuando más cerca del verdadero se encuentre permite tomar las medidas más adecuadas para dimensionar cada uno de los componentes del sistema de tierra.

La resistividad del terreno no es uniforme y existen diferentes técnicas y modelos de terrenos que pueden aplicarse, pero sobre todo de acuerdo al grado de aproximación que deseamos lograr, es aconsejable encontrar el área de menor resistividad para lograr una instalación más económica.



El Telurómetro también conocido como Megger, es el instrumento de medición que permite conocer las características eléctricas del terreno, con este instrumento se mide la impedancia (resistividad) de una fracción del terreno, se puede conocer el grosor de la capa de tierra que deseamos utilizar. La sensibilidad del instrumento depende de la capacidad de medir las tensiones y corrientes distribuidas en el suelo, los accesorios auxiliares utilizados por el telurómetro lo constituyen cuatro (4) electrodos, dos para inyectar corriente al terreno y dos para medir la tensión. Los métodos más utilizados de medición son el de Wenner y de Schlumberger

RESISTIVIDAD DEL TERRENO.-

La resistividad del terreno se constituye en el parámetro más influyente en el valor de la resistencia del terreno, en consecuencia sobre las variaciones de tensión cuando por ella circula la corriente eléctrica.

La resistividad del terreno suele variar en amplios rangos, por lo tanto para propósitos de diseño se debe determinar a partir de mediciones de campo. Considerando que varía en forma significativa en sentido lateral como profundidad, el valor de la resistividad así obtenida se denomina Resistividad Aparente.

La resistividad se define como, la resistencia en corriente continua entre las caras paralelas opuestas de una porción de terreno de longitud y sección unitaria. En el sistema MKS se mide en ($\Omega \text{ m}^2/\text{m}$), en la práctica se acostumbra a utilizar en ($\Omega\text{-m}$), la resistividad y la resistencia de tierra varían influenciadas por los siguientes factores.

- 1) Naturaleza del Terreno.
- 2) Estratificación del Terreno.
- 3) Humedad.
- 4) Temperatura.
- 5) Variación estacional.
- 6) Concentración de Sales Disueltas.
- 7) Compactación.
- 8) Granulometría.

DETERMINACION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.-

La resistividad del terreno está de acuerdo al tipo de suelo, por esta razón no es posible dar valores específicos de resistividad para cada tipo de suelo. Por la amplia variación de valores de resistividad, la norma Boliviana NB 14007, facilita una primera idea de la calidad del terreno, se considera como una idea gruesa de la resistividad los siguientes tipos de terrenos y aguas.

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD OHM - METRO
Terrenos pantanosos	20 a 100
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compuestas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silicea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de céped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 500

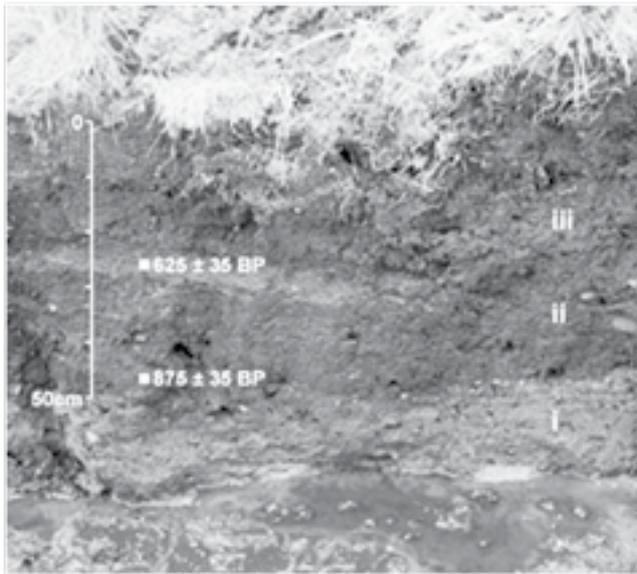
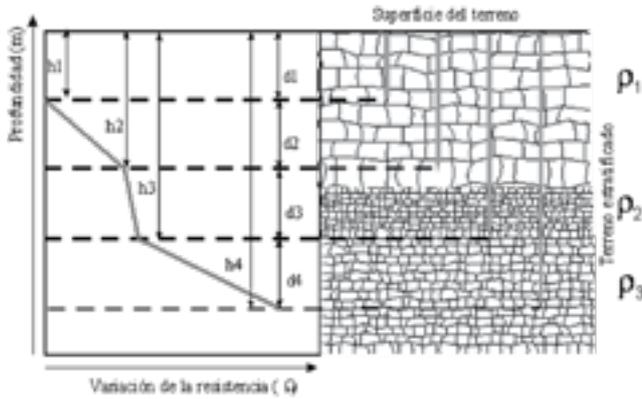
* Fuente: Instrucción NB 14007

TIPOS DE AGUAS	Resistividad ρ ($\Omega\text{-m}$)
Aguas de precipitaciones	30 - 1000
Aguas superficiales de Lagos y Rios	
Aguas puras	3000
Aguas dulces	10 - 1000
Aguas salobres	2 - 10
Aguas en zonas de rocas ígneas	30 - 500
Aguas en zonas de rocas sedimentarias	10 - 100
Aguas de lagos salados	
	0.1 - 1
Aguas de suelos	
Promedio	100
En suelos de rocas ígneas	30 - 150
En suelos de rocas sedimentarias	1
Aguas subterráneas	
	1 - 20
Aguas marinas	
a 30 °C	0.2
a 0 °C	0.4

Agua pura es mala conductora de electricidad
Agua tridestilada, aproximado de 100.000 ($\Omega\text{-m}$)

Modelos de Suelos.-

Siguiendo los métodos de medición de la resistividad aparente del terreno, encontramos que ellos difieren de acuerdo al tipo de terreno y profundidad. El valor de la resistividad promedio asumido servirá para realizar los cálculos de la resistencia de puesta de tierra y la distribución de potencial en la superficie del suelo a baja frecuencia. Las características de la resistividad del terreno se pueden representar, como terreno homogéneo de una capa, terreno no homogéneo de dos o multicapa, el más utilizado que ahora describimos es el terreno de dos capas homogéneas.



MODELO SUELO HOMOGÉNEO.-

Este método describe la resistividad del terreno con si fuese una sola capa y se caracteriza por tener una resistividad uniforme. En este caso particular se puede determinar el valor medio o promedio del conjunto de registros.

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n}$$

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$, representan los valores promedios de la resistividad para cada una de las distancias registradas, siguiendo uno de los métodos de medición.

La norma IEEE 80 en su anexo E, determina una aproximación a suelo homogéneo, tomando en cuenta la siguiente consideración.

$$\rho_a = \frac{\rho_{aMax} + \rho_{aMin}}{2}$$

ρ_{aMax} representa el valor máximo medio de la resistividad aparente y ρ_{aMin} representa el valor medio mínimo de resistividad aparente.

Una manera más adecuada para aproximar un suelo heterogéneo a un suelo homogéneo es utilizando el método Box – Cox.

METODOLOGÍA: VALOR PROMEDIO REGISTROS - RESISTIVIDAD TERRENO

No.	Distancia (m)	Resisvidad (Ω-m)
1	2	96.65
2	3	120.14
3	4	127.5
4	5	124.8
5	6	124.5

Valor Promedio; 118.7 (Ω-m)



METODOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN BOX-COX.-

Cuando se aplica el modelo unicapa, se asume un terreno homogéneo y se requiere un solo valor de resistividad, este modelo se puede aplicar cuando los diferentes valores promedios de las diferentes mediciones de la resistividad no sean mayor al 30 (%) del valor máximo. El método Box-Cox emplea un método probabilístico a partir del cual se asume que el valor de la resistividad se calcula con una probabilidad del 70 (%) de no ser sobrepasado, es una propuesta de la norma ANSI/IEEE 80.

El procedimiento es el siguiente.

- Se determina el valor promedio de la resistividad.

- Se tabula los valores de la resistividad aparente ρ_i .
- En una columna se anotan los logaritmos de las resistividades aparentes, $X_i = \ln(\rho_i)$.
- Determinar el promedio del logaritmo de las resistividades,

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- En una columna determinar las diferencia o errores de cada una de las lecturas, $(X_i - X)^2$.
- Se calcula la desviación estándar S,

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n}}$$

- De la distribución normal se toma Z para el 70 (%), 0.524411.
- Se determina la resistividad con probabilidad del 70 (%) utilizando la siguiente fórmula,
 $\rho = \text{AntiLn}(SZ + X)$

METODOLOGIA: BOX - COX
Metodo de medición: WENNER

Separación de electrodos (m)	Medición (A)	Medición (B)	Promedio (xi)	$X_i = \ln(x_i)$	$(X_i - X)^2$
1	73.64	59.56	66.6	4.1987	0.1924
2	105.05	83.44	94.245	4.5459	0.0084
3	105.93	98.99	102.46	4.6295	0.0001
4	111.84	109.58	110.71	4.7069	0.0048
5	115.92	111.21	113.565	4.7324	0.0090
6	122.15	113.1	117.625	4.7675	0.0169
7	121.39	113.91	117.65	4.7677	0.0170
8	120.13	111.09	115.61	4.7502	0.0127
Valor Promedio X				4.6374	0.0327
Desviación Estandar					0.180755
Desviación Normal Estandar invertida del 70 (%)					0.524411
Resistividad del 70 (%) de no ser superada (Ω-m)					113.54

METODOLOGÍA DE DOS CAPAS HORIZONTALES.-

El modelo utiliza dos capas de suelos homogéneos, el primero de resistividad ρ_1 de profundidad "H", que está expuesto a los cambios atmosféricos, la segunda capa de ρ_2 con profundidad comparable con la longitud de electrodo que será enterrado.

El cambio abrupto de la resistividad de terreno registrado por el método de Wenner, puede ser descrito mediante el factor de reflexión K.

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

ρ_1 y ρ_2 , representan las resistividades de la capa superior y capa inferior.



Las resistividades aparente del suelo medido por el método Wenner y en términos de los parámetros del modelo de dos capas es determinado por la siguiente ecuación.

$$\rho(a) = \rho_1 \left[1 + 4 \cdot \sum_1^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2 \cdot n \frac{h}{a}\right)^2}} - \frac{K^n}{\sqrt{4 + \left(2 \cdot n \frac{h}{a}\right)^2}} \right] (\Omega - m)$$

ρ_1 , es la resistividad de la capa superior (Ω -m)
 h, es la profundidad de la capa superior (m)
 K, coeficiente de reflexión.
 a, espacio entre electrodos (m).

A continuación describiremos el método gráfico analítico de SUNDE, su teoría se desarrolla en base al método de Wenner. Los parámetros ρ_1 y ρ_2 serán obtenidos por inspección de la curva obtenida de la representación gráfica resistividad versus distancia de separación de los electrodos. Solo la profundidad "h" se conoce con este método de cálculo.

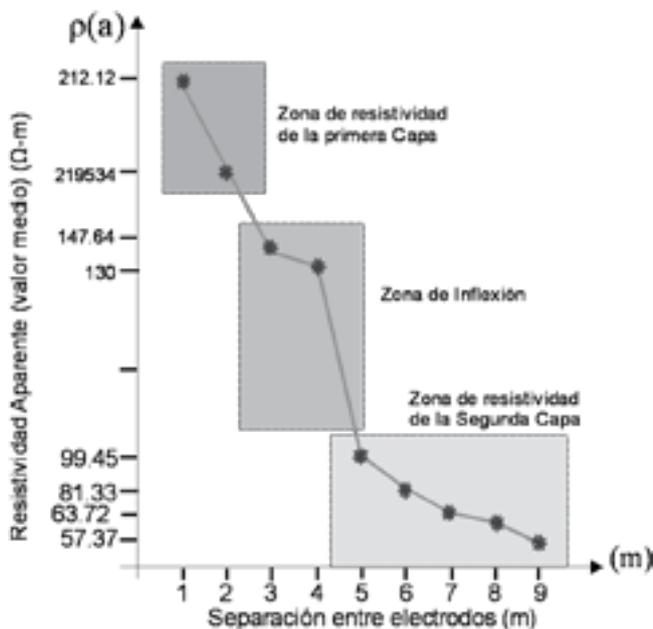
El procedimiento es el siguiente.

1. Trazar una figura de resistividad aparente pa en el eje Y versus el espaciamiento entre electrodos de prueba en el eje X.
2. Estimar por inspección de la curva anterior los valores de ρ_1 y ρ_2 ; ρ_1 corresponde a la resistividad aparente para pequeños espaciamientos y ρ_2 para grandes

espaciamientos. Amplié la figura de resistividad aparente en ambos extremos si los datos tomados en campo son insuficientes.

- Determinar ρ_2 / ρ_1 y seleccionar una curva en el figura de Sunde que coincida con este valor o interpolar y dibuje una nueva curva sobre la gráfica.
- Seleccionar, el valor sobre el eje Y ρ_a/ρ_1 dentro de la región inclinada de la curva correspondiente a ρ_2 / ρ_1 .
- Leer el valor correspondiente de a/h sobre el eje X.
- Calcular ρ_a a partir de la relación ρ_a / ρ_1 en (4) y valor asumido ρ_1 en (2).
- En la figura de resistividad del paso (1), se obtiene el espaciamiento correspondiente al valor de la resistividad aparente ρ_a .
- Calcular h , la profundidad de la capa superior, a partir de la separación a y la relación obtenida en el paso (5).

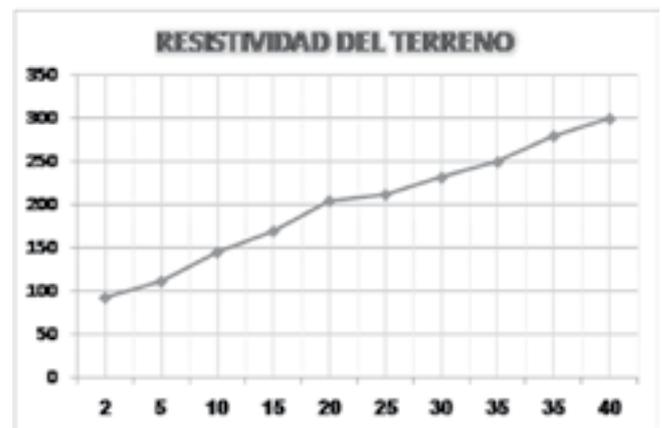
Para determinar por inspección los valores de las resistividades ρ_1 y ρ_2 , el tomar en cuenta el siguiente análisis



Como ejemplo de la descripción del método anterior, desarrollemos todos los pasos para lograr conocer la resistividad de la primera capa y profundidad.

METODOLOGÍA: DOS CAPAS - SUNDE REGISTROS - RESISTIVIDAD TERRENO

No.	Distancia (m)	Resisividad (Ω-m)
1	2	93.15
2	5	112
3	10	145.5
4	15	170
5	20	205
6	25	212.3
7	30	232
8	35	250
9	35	280
10	40	300



Paso 1.-
Representación Curva Resistividad versus separación de los electrodos.

Paso 2.-
Por inspección del comportamiento de la curva de resistividad determinar ρ_1 y ρ_2 .
 ρ_1 ; 100 (Ω-m)
 ρ_2 ; 300 (Ω-m)

Paso 3.-
Calcular la relación de las resistividades ρ_2/ρ_1 . Se selecciona la curva para el valor de "3" en el gráfico de Sunde.

Paso 4.-
Ubicar en el punto medio dentro de la región inclinada de la curva y seleccionar un valor correspondiente de ρ_a/ρ_1 del eje y. Leer el correspondiente valor de a/h en el eje x.
 $\rho_a/\rho_1 = 2$

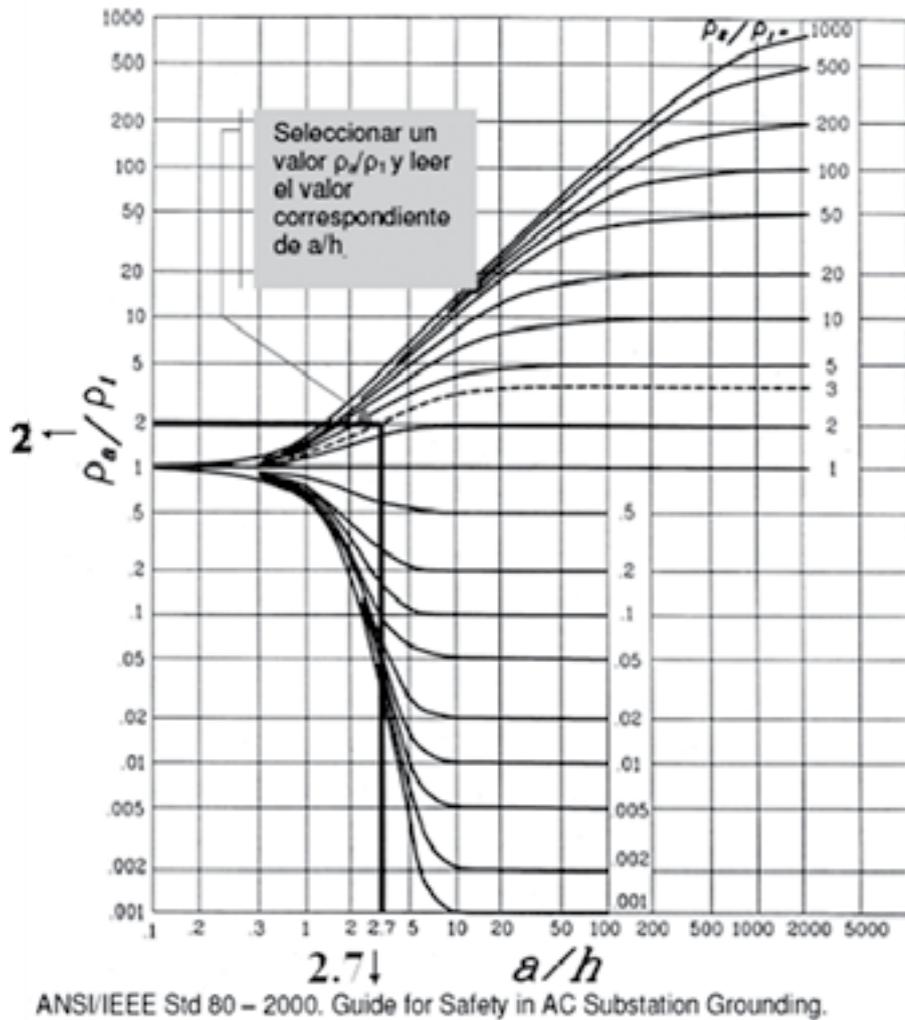
Paso 5.-

Se selecciona $\rho_a / \rho_1 = 2$. Entonces $a/h = 2,7$

Paso 6.-

Calcular el valor de ρ_a , partir de la relación obtenida en el paso 4 y el valor asumido de ρ_1 en el paso 2.

$$\rho_a = 2 \cdot 100 = 200 (\Omega - m)$$



Paso 7.-

En el gráfico Resistividad del Terreno, identifica que para 200 (Ω -m) corresponde una separación de 19 (m).

Paso 8.-

Determinar la altura o profundidad de la capa homogénea (1)

$$h = \frac{19}{2.7} = 7.0 (m)$$

Para tomar los registros que permita hacer todo los análisis anteriores, es importante utilizar una planilla que facilite el orden de la información.

Sugerimos tomar en cuenta el siguiente formato cuya información servirá para elaborar los informes correspondientes con el detalle necesario.

ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO						
DATOS INFORMATIVOS						
Ciudad			Hora			
Fecha			Temp. Ambiente			
Sitio						
Empresa/Dirección						
DETALLE DEL TERRENO			EQUIPO DE MEDICIÓN			
Tipo de suelo			Equipo			
Color			Marca			
Temperatura			Precisión			
			Método de Medición			
MEDICIONES						
Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos (m)	Resistencia (Ω)				Resistividad (Ω) Promedio
		N-S	E-O	N-S	E-O	
OBSERVACIONES						
Responsable de la medición						

AUTOR

Ing. Jorge Gutiérrez Tejerina.

Ingeniero Electricista Titulado en la Universidad Mayor de San Andrés.
Diploma en Fuentes de Energía Renovables ITALIA – Enea.
Técnico Electricista – Escuela Pedro Domingo Murillo La Paz.
Docente Universitario – Facultad de Ingeniería.

Ha desempeñado funciones de:

Director de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Funcionario de Corporación de Fomento Energético Rural - COFER.
Cooperativa de Telecomunicaciones de La Paz – COTEL Ltda. Jefe Regional en la Ciudad de El Alto.
Funcionario, Jefatura de Alumbrado Público La Paz - GMLP

Trabajos de Consultoría en Proyectos de:

Instalaciones de Eléctricas de Baja Tensión.
Redes de Distribución, área rural.
Pequeñas y Micro Centrales Hidroeléctricas.

Cursos de capacitación y entrenamiento:

Planificación de Energías Renovables, Planta Externa Telecomunicaciones, Construcción de Redes, Alumbrado Público, Tableros, Protecciones, ATP/MTP.

jagtejerina@yahoo.com.ar



PREDICCIONES PRODUCTIVAS

ABB - BOLIVIA

EL ANÁLISIS DE LA ESPERANZA DE VIDA MEJORA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES Y GENERADORES DE ALTA TENSIÓN

TOBIAS ÖSTERHOLM, CAJETAN T. PINTO

– Con la predicción de la vida residual de sus devanados de estator, el Life Expectancy Analysis Program (Programa de Análisis de la Esperanza de Vida) (LEAP) de ABB proporciona un método único para la formulación de un plan de mantenimiento para motores y generadores de alta tensión.

El método permite una filosofía de mantenimiento predictivo para reemplazar los métodos preventivos o correctivos. LEAP de ABB apoya los esfuerzos para prolongar la vida de motores o generadores con vistas a un mayor rendimiento de la inversión y proporciona información para calcular los costes a lo largo del ciclo de vida.

También ofrece una base sólida para las decisiones de mantenimiento a corto o a largo plazo y de sustitución.

Todo ello se traduce en un mínimo de tiempos de inmovilización no planificados y bajos niveles de riesgo, con productividad y rentabilidad mayores.

Un factor fundamental que debe tenerse en cuenta al planificar el mantenimiento de motores y generadores de alta tensión (AT), sobre todo en aplicaciones industriales críticas, es la esperanza de vida del devanado del estator.

Los motores y generadores de AT se fabrican generalmente sobre pedido, por lo que no están disponibles en el mercado en caso de que se produjera un fallo inesperado. Esto significa un mantenimiento correctivo que requiere mucho tiempo y que el operador sufra largos períodos de

inmovilización, costosos e imprevistos. ¿Cómo se pueden predecir y evitar tales problemas? LEAP de ABB para motores y generadores de AT puede dar la respuesta. Basándose en una combinación de diferentes tipos de datos, este servicio permite analizar la condición y la vida útil prevista de un devanado de estator. Se trata de un elemento importante del concepto del ciclo de vida de motores y generadores, en el que se optimizan los planes de mantenimiento para que el usuario consiga el máximo valor →1.

En otras palabras, LEAP de ABB permite un mantenimiento predictivo optimizado, que proporciona al usuario los máximos beneficios en comparación, por ejemplo, con una estrategia de mantenimiento basada solamente en un mantenimiento correctivo.

Fallos de los grandes motores. Los motores y generadores grandes, de 2 MW de potencia nominal y superiores, se han diseñado para potencias elevadas. Presentan una proporción relativamente mayor de fallos del devanado que los diseños de menor potencia. Basándose en las cifras de un estudio del IEEE, el 33 por ciento de todos los fallos detectados durante el funcionamiento normal se deben al devanado del estator →2.

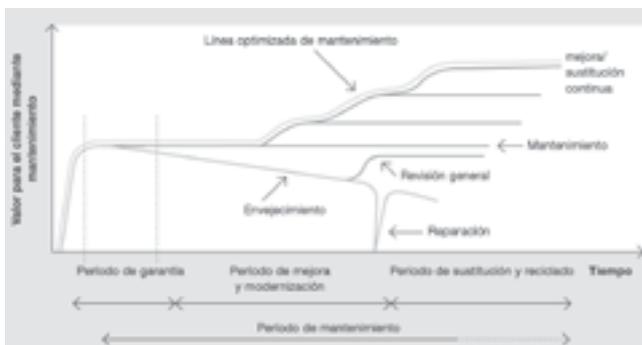
**Un factor fundamental para
el mantenimiento de los
motores
y generadores de
AT es la esperanza de vida
del devanado del estator.**

Sin embargo, la cifra correspondiente a los fallos detectados durante las operaciones de mantenimiento o las pruebas es solo un 8 por ciento. Las cifras para los cojinetes fueron 37 y 61 por ciento, respectivamente.

LEAP de ABB hace posible el análisis del estado y la esperanza de vida de un devanado de estator.

Puede deducirse que hay que mejorar la predicción de fallos del devanado y que LEAP de ABB puede cubrir una laguna crítica de la caja de herramientas de mantenimiento de motores y generadores eléctricos.

1 El ciclo de vida de motores y generadores eléctricos depende del método de mantenimiento seleccionado



LEAP de ABB tiene en cuenta el envejecimiento del aislamiento del devanado debido a factores térmicos, eléctricos, mecánicos y medioambientales con objeto de proporcionar una esperanza de vida prevista con un 80 por ciento de probabilidad de cumplirse. Como resultado, se pueden optimizar los planes de mantenimiento y tomar las decisiones necesarias durante el tiempo de inmovilización planificado.

No obstante, LEAP de ABB es algo más que un simple paquete para inspección. Se trata asimismo de una herramienta para la gestión sistemática del mantenimiento. Además, los propios datos no constituyen el elemento clave: el factor importante es cómo se interpretan y analizan.

En el núcleo de este método de gestión del ciclo de vida de motores y generadores está el comprender cómo varían la carga eléctrica (el campo eléctrico) y la resistencia del aislamiento a lo largo del tiempo y sus posibles efectos sobre los materiales del equipo.

VARIACIÓN CON EL TIEMPO

La degradación del aislamiento del devanado del estator puede describirse en términos generales utilizando dos curvas que demuestran el modo en que la carga eléctrica y la resistencia del aislamiento varían con el tiempo →3. La curva del campo eléctrico muestra la carga combinada sobre el aislamiento del devanado que se produce durante su funcionamiento, incluyendo condiciones irregulares tales como la presencia de transitorios.

La curva de la resistencia presenta el modo en que las condiciones de funcionamiento y el envejecimiento influyen en la resistencia del aislamiento del devanado. El fallo se produce cuando estas dos curvas se cruzan.

LEAP de ABB ofrece al usuario de motores o generadores eléctricos la oportunidad de prever el fallo. Un análisis a tiempo permite prever la vida residual del devanado y después programar el mantenimiento para evitar un fallo prematuro y un costoso tiempo de inmovilización inesperado. El conocimiento de la vida residual original y el aumento de la vida útil obtenido de las acciones de mantenimiento aseguran que ambas curvas no se encontrarán inesperadamente.

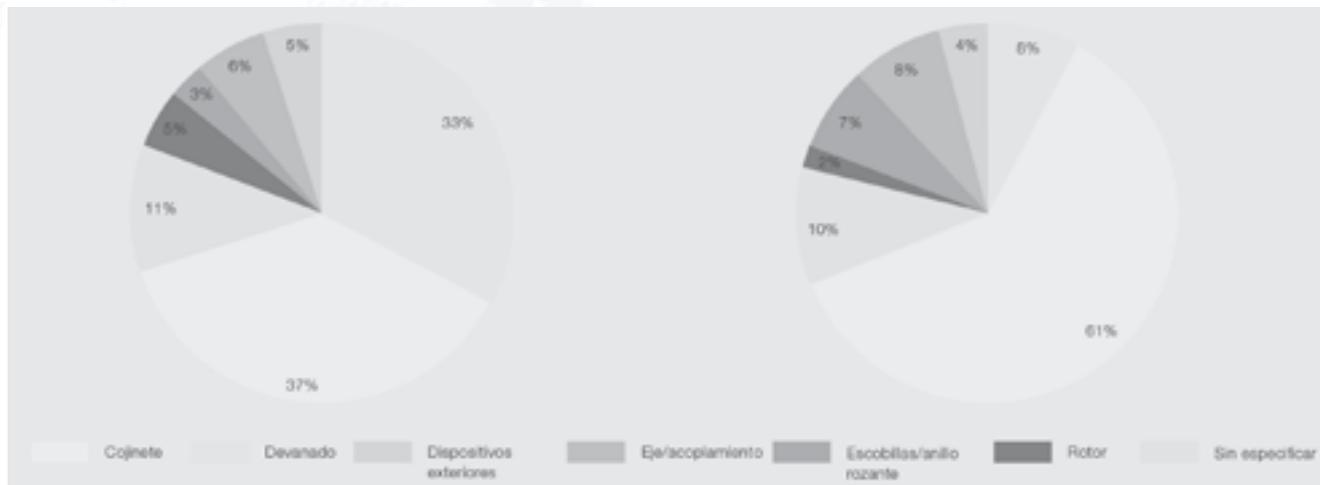
MÉTODOS DE MEDIDA

La predicción científica de la vida residual del aislamiento de un devanado de estator implica varios pasos →4.

Antes de poder efectuar un análisis del pronóstico del futuro de un motor o generador, hay que determinar su condición actual. Esto requiere conocer parámetros básicos tales como horas de funcionamiento, carga, número de arranques, ciclo de trabajo, temperaturas, histórico de mantenimiento, etc. Todos estos factores tienen influencia sobre la esperanza de vida y se deben recoger e incluir en el análisis.

Sin embargo, no todos los datos pueden obtenerse de las fichas de especificaciones y los registros de datos del motor o generador.

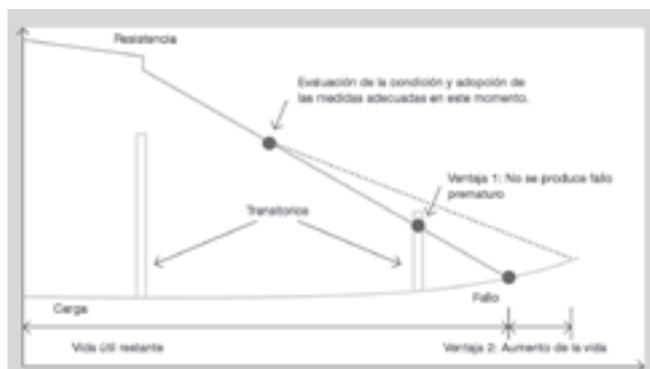
2 Las estadísticas obtenidas de una encuesta de IEEE muestran que se necesitan métodos predictivos para evitar averías en el devanado.



2a Detección durante el funcionamiento normal

2b Detección durante el mantenimiento o la prueba

3 La carga eléctrica y la resistencia del aislamiento varían con el tiempo y cuando las curvas se cruzan se produce un fallo.



Un aislamiento de devanado, en diferentes fases del proceso de envejecimiento, tiene propiedades que solo podrán estimarse mediante mediciones. LEAP de ABB incluye cuatro métodos principales de medición que proporcionan información acerca de las condiciones de la superficie y del interior del aislamiento:

- Análisis de las corrientes de polarización y despolarización (PDCA)
- Análisis de tg δ y capacitancia
- Análisis de descarga parcial (PD)
- Análisis de la conducta de aislamiento no lineal (NLIBA)

PDCA proporciona bastante más información que las mediciones de resistencia de aislamiento (IR) e índice de polarización (IP) utilizadas

LEAP de ABB es algo más que un simple paquete para inspección. Se trata asimismo de una herramienta para la gestión sistemática del mantenimiento.

normalmente. PDCA es un método de CC en el que se somete inicialmente a carga el aislamiento del devanado y se descarga después a tierra a través de un contador de baja intensidad. Se generan dos curvas que describen la variación de la intensidad a lo largo del tiempo durante estas dos fases de medida →5a.

A partir de esas curvas es posible obtener un valor de almacenamiento de carga para el aislamiento del devanado y compararlo con los valores de referencia en condiciones normales. Ello permite un análisis más exhaustivo que si solo se utilizaran PI o IR y el método puede proporcionar valores satisfactorios incluso con devanados muy contaminados. PDCA da una idea de la cantidad y la localización del almacenamiento de carga en el aislamiento del motor o generador e identifica la contaminación de la superficie del devanado. También ofrece una visión adicional sobre el estado del aislamiento del devanado, incluyendo su posible envejecimiento y holguras.

4 LEAP de ABB en cuatro niveles

Nivel	Programación de LEAP de ABB con relación a la vida estimada (%)	Estado de motor/ generador	Acción	Resultado
Básico	Cada 5	En funcionamiento	- Recogida de datos (a distancia o en las propias instalaciones), incluyendo horas de funcionamiento, tensión, intensidad, potencia, deslizamiento, número de arranques y paradas, temperatura (devanado, refrigerante, ambiente), ciclo de trabajo, modelo de carga, histórico de fallos y mantenimiento, alimentación eléctrica, etc.	- Análisis de la esperanza de vida con un nivel de confianza del 65% - Plan de inspecciones y mantenimiento basado en la condición
Estándar	Cada 10	Montado pero parado	- Recogida de datos básicos - PDCA - NLIBA - Análisis tg δ/capacitancia - Análisis PD	- Evaluación de la condición de los devanados del estator incluyendo contaminación, envejecimiento, holguras, delaminación y sistema de clasificación de esfuerzos - Análisis de la esperanza de vida con un nivel de confianza del 80 % - Plan de inspecciones y mantenimiento basado en la condición
Avanzado	Cada 25	Parcialmente desmontado	- Recogida de datos estándar - Inspección visual de los extremos del devanado - Medición de la sonda de PD - Respuesta mecánica dinámica del devanado - Análisis de esfuerzos de los extremos del devanado	- Evaluación de la condición de los devanados del estator en el paquete estándar, además de los extremos del devanado - Análisis de la esperanza de vida con un nivel de confianza del 85 % - Plan de inspecciones y mantenimiento basado en la condición
Máximo	Cada 50	Desmontaje del rotor	- Recogida de datos avanzados - Determinación del ajuste de las cuñas - Medida de la resistencia del acoplamiento - Inspección visual, incluyendo las zonas de ranuras - Análisis de esfuerzos de los devanados	- Evaluación de la condición de los devanados del estator en el paquete avanzado, además de la zona de ranuras - Análisis de la esperanza de vida con un nivel de confianza del 90 % - Plan de inspecciones y mantenimiento basado en la condición

El análisis de tg δ y capacitancia es un método estándar que se utiliza normalmente antes de la entrega de los motores y generadores eléctricos de alta tensión. Las medidas de tg δ proporcionan una indicación de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento. A una cierta tensión, la curva asociada presenta una variación brusca cuando se empiezan a producir descargas parciales en el devanado → **5b**. Un análisis de tg δ y capacitancia proporciona información acerca de la cantidad de espacios de aire de descarga del aislamiento, estado de la resina, contaminación, espiras sueltas y otros defectos dentro del aislamiento del estator.

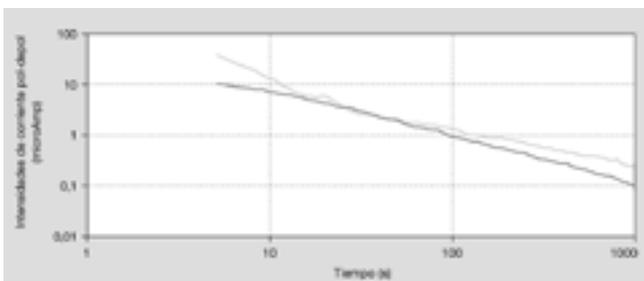
Los cálculos y los análisis son realizados por expertos en un centro de excelencia de ABB LEAP y no se limitan a los motores y generadores fabricados por ABB.

Se utilizan las mediciones de PD para evaluar el tamaño y la ubicación de la actividad de descargas en el sistema de aislamiento del estator. Se filtran las descargas parciales a través de un condensador de acoplamiento y una impedancia terminal y luego se registran. La actividad de descarga parcial se representa en un ciclo de tensión mediante la información medida de amplitud, fase e impulsos recogida a lo largo de varios ciclos de tensión → **5c**. El análisis tiene en cuenta la amplitud y la forma de la curva de descarga parcial en las fases positiva y negativa del ciclo de tensión para diferentes niveles de tensión. Esta configuración facilita información acerca de la parte del devanado del estator en que se producen descargas parciales: por ejemplo, en las ranuras entre la bobina y el laminado del estator, los extremos de la bobina o las cavidades internas de aire causadas por la deslaminación del aislamiento. NLIBA es un método exclusivo de ABB en el que se analiza la admitancia del aislamiento del devanado. Como complemento sofisticado del análisis

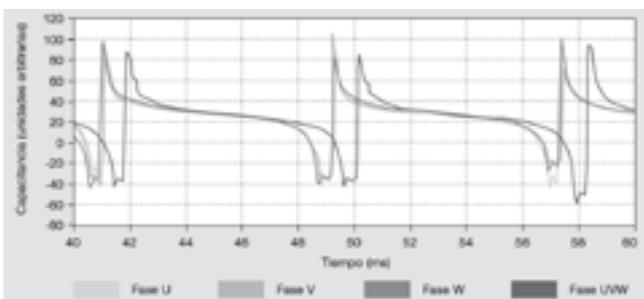
de $\text{tg } \delta$ y capacitancia, examina los armónicos producidos dentro del aislamiento del devanado por medio de su comportamiento no lineal. Los distintos modelos de armónicos obtenidos indican condiciones de aislamiento diferentes, representando generalmente los armónicos de orden superior un envejecimiento durante mucho tiempo. Además de la indicación del estado de despolimerización de la resina, los armónicos ofrecen asimismo información sobre la situación de la pantalla de protección de la corona y del sistema de atenuación del campo que se utiliza en los extremos de las ranuras. Estos diferentes métodos de medición se solapan parcialmente en cuanto a lo que pueden detectar. Como consecuencia, la indicación de un defecto en una medición puede verse confirmada por otra. Los resultados son también influidos por factores ambientales como la temperatura y la humedad, que hay que tener en cuenta.

Mientras el método PDCA es una prueba de CC, los demás se basan en CA. Las pruebas de CC son sensibles al estado de la superficie y las de CA aportan más información sobre el volumen de aislamiento.

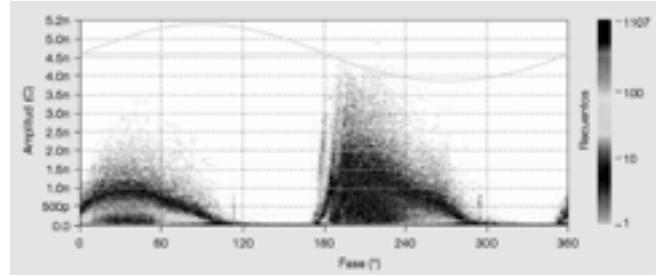
5 Mediciones de CA y CC correspondientes al paquete estándar LEAP



5a Variaciones de la intensidad con el tiempo durante la prueba de carga/descarga

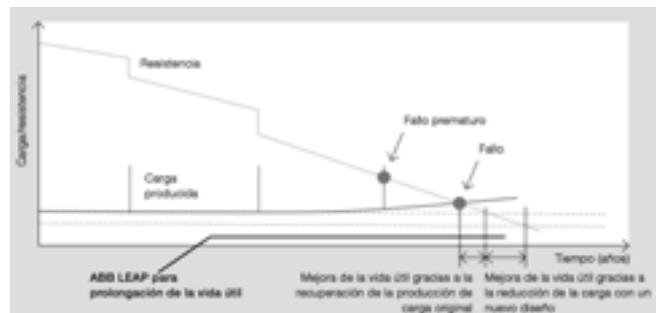


5b A una cierta tensión, la curva presenta una variación brusca cuando se empiezan a producir descargas parciales en el devanado.



5c Actividad de descarga parcial recogida a lo largo de varios ciclos de tensión

6 Mejora de la vida útil de motores y generadores eléctricos



ANÁLISIS

Una vez que se dispone de la información anterior, junto con los datos recogidos, el paso siguiente en LEAP de ABB es el análisis. Esto proporciona una imagen completa del devanado del estator basada en la experiencia y el cálculo que utiliza software patentado con algoritmos únicos elaborados y perfeccionados por ABB. A lo largo del tiempo, ABB ha creado una base de datos de las mediciones y los análisis de más de 5.000 motores y generadores de todo el mundo.

Esto ofrece una base sólida para la determinación del estado del devanado de un estator, efectuar cálculos de la carga y estimar la vida residual prevista →6. En consecuencia, LEAP de ABB no depende de los viejos registros de mediciones efectuadas en un determinado motor o generador eléctrico.

Los cálculos y los análisis son realizados por expertos en un centro de excelencia de ABB LEAP y no se limitan a los motores y generadores fabricados por ABB. Los clientes reciben informes globales con resultados de los análisis, recomendaciones de acciones y una estimación

de la vida útil restante. Aquellos que necesiten ayuda para la aplicación de las medidas recomendadas pueden dirigirse a uno de los muchos centros de servicio de ABB existentes en todo el mundo.

MAXIMIZAR EL VALOR

LEAP de ABB proporciona a los operadores de motores y generadores eléctricos el acceso a una herramienta precisa para el mantenimiento predictivo que permite maximizar el valor de sus recursos de motores y generadores. Puesto que el tiempo de actividad y los costes generales son cada vez más críticos, LEAP de ABB ayudará a asegurar que se cumplen los objetivos de los operadores.

MAYORES INFORMES:

**Power and productivity
for a better world™**



Sánchez Bustamante # 275
entre 8 y 9 Calacoto
TEL: 591 2 2788181 Int: 225
FAX: 591 2 2788182
Web: www.abb.com.bo
La Paz - Bolivia

CONDUBOL S.R.L.

*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

LA NUEVA MANERA DE PROBAR INTERRUPTORES DE POTENCIA

TRITEC S.R.L.



El TM1700 ofrece resultados de prueba confiables y exactos.

Los interruptores de circuito de alto voltaje son los componentes de seguridad clave en todos los sistemas de transmisión y distribución de potencia. La incertidumbre sobre si funcionarán correctamente cuando así se requiera —las pruebas son esenciales. Pero cuando se trata de comprar equipos de prueba para interruptores de circuito, ¿cuáles son las opciones?

Hay instrumentos de bajo costo que ofrecen un excelente retorno de inversión en aplicaciones simples y hay instrumentos de alta gama que brindan un desempeño y una versatilidad excelentes pero sin duda representan una

inversión importante. ¿Qué hay, entonces, entre estos extremos?

Los analizadores de interruptores de circuito de rango medio no son, en sí mismos, nada nuevo pero recientemente, se acentúa la sensación de que los modelos disponibles —si bien estaban adecuadamente especificados cuando se introdujeron— ya no están a la altura de los requerimientos cada vez más complejos de los usuarios de los interruptores de circuito actuales.

Esta brecha en el mercado ha sido resuelta con una nueva generación de analizadores de interruptores de circuito que ofrecen una funcionalidad mejorada a precios significativamente menores que los de los instrumentos de alta gama. Examinemos qué tienen para ofrecer estos instrumentos pioneros de rango intermedio.

Dado que la seguridad es siempre de importancia superlativa, una función clave es la compatibilidad con pruebas DualGround. Esto permite que las pruebas sean realizadas con ambos extremos del interruptor conectados a tierra, lo que garantiza que los voltajes peligrosos de equipos en las adyacencias nunca se puedan inducir en el interruptor bajo prueba.

Otra función importante de estos instrumentos es la supresión activa de la interferencia, que minimiza el efecto de la corriente de interferencia acoplada en forma capacitiva en el objeto bajo prueba, haciendo que sea posible hacer mediciones exactas, incluyendo mediciones de valores PIR, incluso en entornos eléctricamente ruidosos.

También se ha progresado en la funcionalidad de las unidades de control de estos instrumentos permitiendo la generación de impulsos de control independiente para cada fase, lo que posibilita simular la secuencia de una falla de



tierra monofásica. Las unidades de control también permiten medir automáticamente el voltaje de control, en línea con IEC 62271-100, y medir la corriente de bobina en cada fase por separado. Vale notar que muchos instrumentos más antiguos miden solamente la corriente total para las tres fases. Desafortunadamente, esta medición es esencialmente inútil.

Otra función importante de los nuevos equipos de prueba de rango medio para interruptores de circuito es permitir la prueba de primer disparo con la ayuda de transformadores de corriente en forma de pinzas, ya sea que el interruptor tenga un mecanismo de operación único común a las tres fases, o un mecanismo de operación separado para cada fase. Estas valiosas prestaciones hacen que sea posible analizar la firma de la corriente de bobina, que es la parte más importante de la prueba del primer disparo. También permiten la medición del tiempo de apertura del contacto de un interruptor de circuito, junto con la sincronización de los tiempos de apertura para las tres fases, sin sacarlo de servicio.

También se ha prestado mucha atención a la interfaz de usuario, con los mejores instrumentos de los que se dispone actualmente incorporando pantallas táctiles en color, y "asistentes" de software que reducen en gran medida la

complejidad de las tareas como la producción de plantillas personalizadas de prueba. Las pantallas además muestran resultados de pruebas en forma gráfica, haciendo que sean más fáciles de interpretar, un proceso que además está ayudado por funciones de comparar y magnificar para las trazas exhibidas.

También se ofrece ayuda integral, incluyendo la visualización en pantalla de los diagramas de conexión que muestran exactamente cómo se deben conectar los conectores de prueba para la prueba elegida.

Solo ha sido posible mencionar aquí algunas funciones que están disponibles en los equipos de prueba de rango intermedio para interruptores de circuito. Hay muchas otras que incluyen, por ejemplo la posibilidad de conectar transductores de manera que el movimiento del interruptor de circuito se pueda medir directamente y la capacidad de agregar fácilmente el monitoreo de vibraciones y funciones de análisis.

Si está pensando en comprar próximamente un nuevo equipo de prueba para interruptores de circuito, o si encuentra que su kit de prueba actual para interruptores de circuito ya no satisface sus requerimientos, valdrá la pena dar una mirada a las hojas de datos de los instrumentos de rango

intermedio de nueva generación, de los cuales son excelentes ejemplos los productos del nuevo rango de Megger.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Control Local o remoto del Analizador
- DualGround timing (Opcional) – Tecnología Patentada para medir tiempo en los contactos principales teniendo ambos lados a tierra. Hay que tener cuidado con el método utilizado. (Ver ejemplo de comparación entre métodos líneas abajo)
- SRM/DRM de Alta corriente, bajo peso, multi-corte (opcional) – Fuente de corriente para mediciones de Resistencia Estática y Dinámica con TM1700. Algunos competidores están limitados a una fuente de corriente ubicada en el piso, lo que conlleva largos y pesados cables y cambios de conexión. La Medición de Resistencia dinámica es un método muy rápido para probar interruptores con SF6.
- Unidad de control Multi-funcional
 - o Control de Generación de Pulso Independiente por fase – para simular la secuencia de una falla monofásica a tierra. Ej: OPhaseA – 300 ms delay – CO3-Phase.
 - o Medición de corriente de bobina Independiente por fase – Las Corrientes de bobina deben ser analizadas una por una. Otros fabricantes miden una sola corriente de bobina que registra la suma de las tres fases. Esa medición es inválida.
 - o Medición de corriente de bobina externa, dedicada, individual, por fase – Para medir la característica de corriente de bobina de primer disparo, la corriente real en una configuración rele X/Y y en configuraciones de bobinas individuales donde las 3 bobinas estén interconectadas a un comando de control común.
 - o Medición de Resistencia de Bobina Automática – Mide la Resistencia de bobina automáticamente durante el registro de las operaciones estándares de cierre y apertura. Ningún otro fabricante tiene esta prestación.
 - o Temporización de contactos auxiliares automática – Mide el tiempo de un

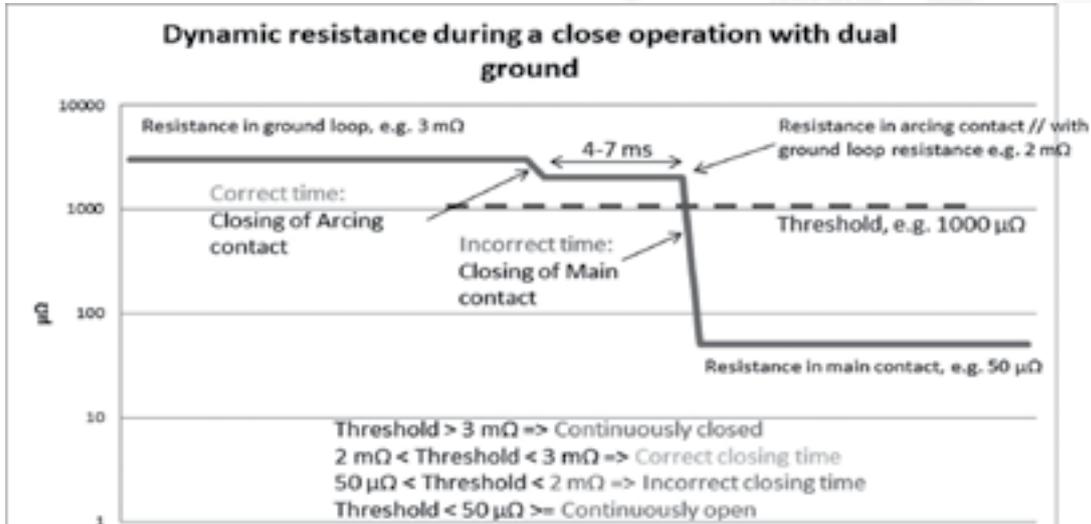
52a/b durante el registro estándar de operaciones de cierre y apertura. Ningún otro fabricante tiene esta prestación.

- Canales Analógicos de Alta resolución – convertidores análogo/digital de 16-bit. La mayoría de otros fabricantes utilize conversores de 12-bit, o sea 1/16 de nuestra resolución.
- Frecuencia de muestreo de 40 kHz en todos los canales – La mayoría de otros fabricantes utiliza una frecuencia de muestreo de 10 kHz, es decir ¼ de la nuestra.
- Medición de Vibraciones y Evaluación avanzada – Mediciones de la condición No invasivas. La herramienta de evaluación está basada en algoritmos avanzados de “reconocimiento de voz”.
- Seis canales digitales de desplazamiento – Algunos Interruptores requieren registros de 6 canales.
- Importa históricos de resultados y configuraciones del software CABA Win – lo que permite dar soporte y continuidad con usuarios que ya cuentan con TM1600.
- Interface de Usuario táctil (TM1750/60)

Comparación de Métodos de Temporización de contactos con ambos lados puestos a tierra método DCM (Megger) vs. método DRM

De acuerdo a los estándares el cierre está definido como el instante cuando los contactos de arco se tocan. Al usar una medición de resistencia dinámica como medio para medir tiempo de los contactos con ambos lados puestos a tierra, hay un riesgo muy grande de perder de vista el contacto de arco ya que el nivel de resistencia varía diminutamente. El cambio considerable en la resistencia se da cuando el contacto principal se cierra.

Un competidor utiliza un nivel de disparo ajustable para distinguir entre un estado cerrado y otro abierto. Pero, el configurar éste valor de disparo es una tarea arbitraria ya que tanto la resistencia de lazo como la resistencia de contacto de arco son parámetros desconocidos. Además, la curva de resistencia no es registrada, de modo que tampoco puede ajustar el nivel de disparo luego de la prueba.



CONFIGURACION DEL ANALIZADOR

TM1710 No local UI PC control via CABA Win		6 timing (3x2) 3 control 6 digital motion	
TM1720 No local UI PC control via CABA Win		6 timing (3x2) 6 control 6 aux timing 6 digital motion	
TM1750 CABA Local and PC control via CABA Win		6 timing (3x2) 6 control 6 aux timing 6 digital motion	
TM1760 CABA Local and PC control via CABA Win		6 timing (3x2) 6 control 6 aux timing 3 analogue 6 digital motion	

Fuente: Artículo Megger

INFORMES Y CONSULTAS
 Ing. Guillermo Delgado
PROYECTOS ESPECIALES



- ▶ **OFICINA MATRIZ COCHABAMBA:**
 Av. Oquendo # N-0452 Edif. Santa María, Piso 4
 Telf.: (591)(4) 4256993 - 4500905
 Telf./Fax: (591)(4) 4250981, Casilla: 1935
 E-mail: cochabamba@tritecbolivia.com
- ▶ **OFICINA REGIONAL SANTA CRUZ:**
 Av. Monseñor Rivero # 21, Edif. San Nicolás,
 Piso 3 Oficina 3D
 Telf./Fax: (591)(3) 3369764
 E-mail: santacruz@tritecbolivia.com
- ▶ **OFICINA REGIONAL LA PAZ:**
 Av. Mariscal Santa Cruz
 Edif. Cámara Nacional de Comercio, Piso 6 Of. 601
 Telf.: (591) (2) 2900833 - Tel. Fax: (591) (2) 2900834
 E-mail: lapaz@tritecbolivia.com

www.tritecbolivia.com

SOLUCIONES FURUKAWA PARA DATA CENTER (Segunda Parte)

SERCOELEC Ingeniería S.R.L.

INTRODUCCIÓN.

Las SOLUCIONES FURUKAWA PARA DATA CENTER, consideran diversos aspectos y normas que benefician a la correcta ejecución de proyectos de magnitud e importancia que significa para una institución con alta responsabilidad social y de compromiso con el Cliente Final.

RESUMEN PRIMERA PARTE. Las características de diseño se encuentran relacionados con una Alta Disponibilidad minimizando los riesgos de downtime; La Modularidad permite crecimiento futuro a través de soluciones modulares; El Desempeño en altas tasas de transmisión. La Gestión Control en la instalación y en la asistencia del sistema; Seguridad: Certeza del mejor control de su red de TI; Alta Densidad más eficiencia en la utilización de su espacio físico, mejorando la disipación del calor y reduciendo el consumo de energía.

La norma ANSI/TIA 942 indica reglas aplicables para clasificar un Data Center considerando el Downtime por año; Tier I – Básico con hasta 28.8 horas anuales; Tier II – Componentes redundantes permitiendo hasta 22.0 horas anuales; Tier III – Sistema Auto Soportado Permitiendo hasta 1.6; Tier IV – Sin Tolerancia a Fallas Permitiendo hasta 0.4 horas anuales de downtime.

ÍTEM A CONSIDERAR EN EL PROYECTO.

Cuando proyectamos un Data Center debemos explorar los varios escenarios posibles de la operación considerando la vida útil del Data Center, se recomienda:

- Determinar la capacidad total para todos los equipos;
- Anticipar el crecimiento futuro;
- Buscar soluciones escalonares;
- Proyectar un buen sistema de cableado estructurado, que ofrezca desempeño adecuado a sus necesidades actuales y

futuras;

- Utilizar, para los sistemas críticos, un cableado MDA y HDA redundante;
- Utilizar recorridos redundantes entre la ER – MDA y entre la MDA – HDA por fibra o cobre;
- Se debe siempre tener un backup– si posible – total de los equipos críticos, además de módulos sobresalientes (obligatorio).
- Proyectar sistemas que permitan una total gestión de la infraestructura;
- Debido a elevada inversión total en infraestructura eléctrica, de aire acondicionado, seguridad y telecomunicaciones, se debe considerar soluciones de cableado que permitan optimizar la ocupación de espacios físicos.

DETALLES DE LA INSTALACIÓN

RACKS Y GABINETES: Los Racks y gabinetes deben ser instalados en línea y de manera alternada formando líneas dónde ellos estén posicionados de manera frontal y reversa, así serán creadas columnas calientes y frías. Las columnas frías están posicionadas en la parte frontal de los racks y gabinetes y las columnas calientes en parte trasera. Todos los racks y gabinetes deben ser identificados en la parte frontal y trasera. Para las salas con piso elevado, cada rack debe tener una identificación basada en coordenadas línea x columna del piso (600x600mm).

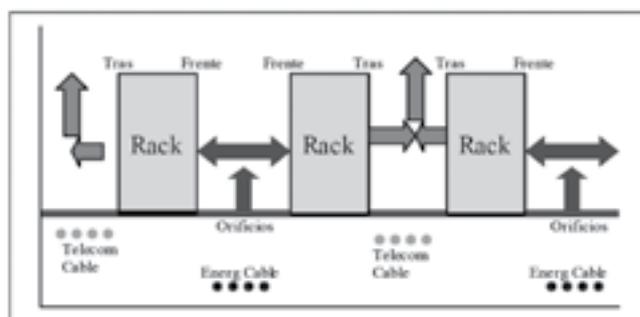


Figura 3; Disposición y de Racks, cableado Estructurado de Datos y Energía.

CABLEADO HORIZONTAL: Las tecnologías aplicadas pueden ser seguidas por fibra óptica o en cobre. En fibra óptica, se puede utilizar cable con fibras monomodo (SM) o multimodo (MM) y en la opción de cobre es recomendado el uso mínimo de Categoría 6.

Las distancias máximas atingidas son:

Tipo de tecnología	Enlace completo	Distancia Horizontal
Fibra óptica	300 metros	-
Cobre	100 metros	90 metros

Figura 4; Tabla de longitudes máximas Cableado Horizontal.

Los cables, Conneting hardwares, Patch cords, Equipment cords e Zone Area cords deben atender los requisitos de las normas EIA/TIA 568B-2 y EIA/TIA 568 B.3.

INFRAESTRUCTURA PARA EL RECORRIDO DEL CABLE:

Primeramente, los Data Centers deben atender a los requisitos de la norma TIA-569-B como un edificio comercial cualquier. Para la seguridad de las informaciones es importante que el público y usuarios no tengan acceso a las callas y ductos de pasaje del Data Center. La separación de los cables de telecomunicación y de energía debe seguir las normas vigentes del país. En los Estados Unidos es recomendado el cumplimiento a NFPA-70 / 569-B adjunto C.

Cantidad de circuitos	Tipo de circuito eléctrico	Separación
1 ~15	20A 110/240V 1 fase (con o sin blindaje)	Física
16 ~30	20A 110/240V 1 fase (con blindaje)	50 mm
31~60	20A 110/240V 1 fase (con blindaje)	100 mm
61~90	20A 110/240V 1 fase (con blindaje)	150 mm
Más de 90	20A 110/240V 1 fase (con blindaje)	300 mm

Figura 5; Tabla de separación entre cables de telecomunicación y de energía.

Los cables de fibra óptica y los cables de cobre deben tener caminos distintos para facilitar la administración, minimizar daños a los cables

de diámetros reducidos y si posible, los cables ópticos deben estar encima de los cables de cobre.

PISO ELEVADO: El cableado instalado en pisos elevados debe tener bandejas ventiladas, de múltiples capas (layers) y el piso debe tener por lo menos 150mm de profundidad, recomendado 300mm.

TECHO FALSO O FORRO: También debe proveer el cableado por bandejas ventiladas en múltiples capas, dónde también no debe ser inferior a 150mm de profundidad.

TECNOLOGÍAS APLICABLES. Para la instalación y ejecución de un nuevo Data Center, siguen abajo algunas posibles tecnologías que pueden ser aplicadas por nuestros proyectistas e instaladores acreditados en proyectos de Data Center.

BACKBONE: En el Backbone pueden ser instalados cables de fibra óptica o de cobre. Es importante considerar la elección de un cable que soporte a nuevas tecnologías y servicios futuros y no solamente atender la demanda actual de la red.

CABLES DE COBRE: La norma indica para el uso de cables de cobre, la Categoría 6 o superior. Debe soportar tasas de transmisión de 1Gbps/10Gbps para distancias de hasta 100 metros.

Para soporte a tasas de 10Gbps o superiores es recomendado la utilización de cableado blindado (F/UTP), pues las interferencias electromagnéticas, que son puntos de entrada para errores y pérdidas de bits en altas velocidades de transmisión son eliminadas con el blindaje.

La nueva categoría de cableado en cobre, denominada Categoría 6A, tiene un mejor desempeño para transmisiones a 10Gbps en 100 metros.

Las principales diferencias entre las tecnologías para cableado en cobre son:

Características	Categoría			
	6		6A	
	U/UTP	F/UTP	U/UTP	F/UTP
Banda (MHz)	250	250	500	500
Distancia máxima para el Backbone(m)	100	100	100	100
Velocidad de Transmisión Garantizada para 100 metros	1 Gbps 10 Gbps (*)	1 Gbps 10 Gbps(*)	10 Gbps	10 Gbps
Peso (kg/km)	42	53	60	57
Diámetro nominal (mm)	6,2	7,5	8,8	8,1

(*)Para redes ya existentes donde se pretende aprovechar el cableado para la conexión de algunos links a 10Gbps y de acuerdo con el boletín técnico TSB155 de la EIA/TIA568B.

Figura 6; Tabla de Distancia máxima para el Backbone

El uso de cables Categoría 5e no es recomendado para un Data Center pues es una tecnología antigua y su tasa de transmisión es más limitada. Además del desempeño de transmisión es importante observar también el grado de propagación de la llama (flamabilidad) que todo el cable posee y también considerar la emisión de los gases tóxicos y el grado del humo emitido por los cables.

Se recomienda el uso de cables con un grado de flamabilidad CM para las áreas de cableado en que no se ultrapase más de uno piso y también que los cables sen del tipo LSZH (Low Smoke Zero Halogen- Baja Emisión de Humo y Baja Emisión de Gases Halógenos), para que se evite la intoxicación de personas y daños a los equipamientos presentes en el entorno.

Para la interconexión de diversos pisos (más de 1) es recomendada la utilización de cables CMR (Riser).

CALES ÓPTICOS: Pueden ser monomodo o multimodo. Para la utilización de fibras multimodo, la norma ANSI/TIA 942 indica el uso de cables con fibras optimizadas a lasertipo MM 50µm OM3 (ISO/IEC 11.801), pues este tipo de fibra tiene características de atenuación y desempeño superiores que las fibras convencionales soportando enlaces de hasta 550 metros con tasas de transmisión de 10Gb.

Para reducir el tiempo de instalación y la ocupación del espacio físico, es recomendada la utilización de productos pre-conectorizados con conectores MPO ("Multi-fiber Push On").

Características	OM2 MM (50.0)	OM1 MM (62.5)	OM3 MM (50.0)
Distancia máxima para el Backbone a 10Gbps (m)*	82	33	550
Distancia máxima para o backbone en 1Gbps (m)*	550	275	1040

(*) En 850nm

Figura 7; Tabla de Comportamiento de las fibras frente a tasas de transmisión de 1Gbps y 10Gbps

Para aplicaciones superiores a 10Gb y distancias mayores, se recomienda el uso de las fibras ópticas monomodo.

Cuanto al grado de flamabilidad para los cables ópticos, la recomendación es la misma que para los cables en cobre, pero la nomenclatura cambia para COG.

En los cables ópticos también se recomienda el uso de cables LSZH.

TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS. Para mejorar la seguridad, reducir los costos de mantenimiento y aumentar la confiabilidad se puede agregar algunos elementos adicionales.

Sistema Inteligente de Administración de Redes Para la administración inteligente de redes, Furukawa ofrece un sistema compuesto por Patch Panels y Distribuidores Ópticos específicos, Patch cords especiales, software y hardware para supervisión de la red on-line.

La solución completa enlace de cableado estructurado en cobre Categoría 5e, Categoría 6 y Categoría 6a, además de enlaces ópticos.

La topología de una red utilizando este sistema es prácticamente similar al de una red convencional, sobre todo se debe trabajar en la topología "crossconnect" con reflejos de switches.

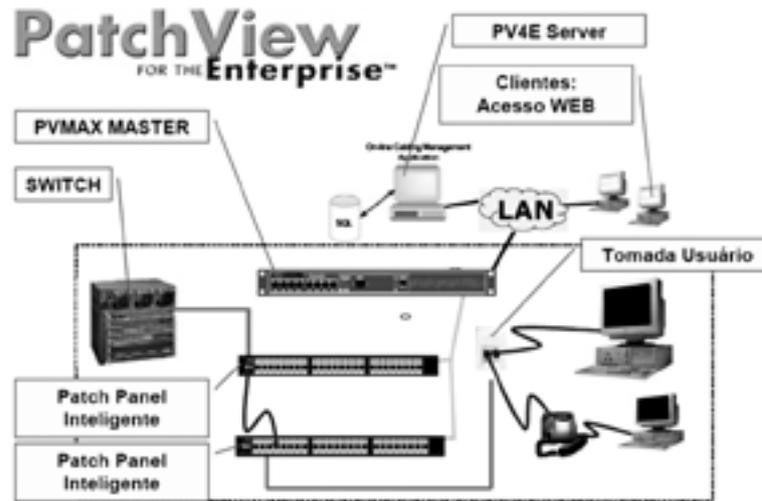


Figura 8; Diagramación del Sistema PatchView.

El **sistema PatchView** monitorea todas las conexiones físicas del Data Center en tiempo real, emite informaciones del status de las conexiones e identifica los accesos ilegales. Asegura quien está conectado a quien, además de auto detectar los recursos de infraestructura disponibles.

Hay un módulo que permite la interconexión a sistemas de AUTOCAD, así, la visualización gráfica de los puntos físicos de la red que hace más fácil.

Las alarmas son identificadas en tiempo real y los puntos de fallas, localizados inmediatamente. Con este sistema los Gestores de TI pueden obtener un crecimiento controlado y seguro del Data Center.



SERCOELEC
Ingeniería S.R.L.
Soluciones en Servicio Técnico

*Gracias por el Apoyo en los
30 Años de Edición Continua*

MEDIDA DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO CONFORME A LA CLASE A

FLUKE

NOTA DE APLICACIÓN

Desde la entrada en vigor de la norma IEC 61000-4-30 Clase A, ha sido posible medir de una forma fiable y coherente los parámetros que definen la calidad del suministro eléctrico. Tanto para las compañías suministradoras, como para las empresas con elevados consumos de energía eléctrica o con procesos críticos dependientes del suministro eléctrico, es importante poder comprobar la calidad de dicho suministro y determinar, por ejemplo, si el origen de un problema concreto se sitúa en el interior de las instalaciones del usuario, o bien, por el contrario, se debe a un suministro deficiente por parte de la empresa suministradora. Las medidas realizadas con instrumentos conforme a la norma IEC 61000-4-30 Clase A, pueden ser utilizadas en conflictos legales o contractuales, por lo que es esencial elegir un instrumento que incorpore esta funcionalidad.

La medida y control de la calidad del suministro eléctrico aún se encuentra en desarrollo y es un campo de aplicación relativamente nuevo. Existen cientos de fabricantes en todo el mundo con diferentes y variados procedimientos de medida. A pesar de que las medidas eléctricas básicas como, por ejemplo, el valor eficaz (rms) de la tensión y la corriente se definieron hace bastante tiempo, una gran cantidad de parámetros no se definieron previamente, obligando a los fabricantes a desarrollar sus propios algoritmos. Con tal variedad de instrumentos, los profesionales del sector eléctrico, con frecuencia, se ven obligados a dedicar un tiempo excesivo a comprender su manejo y los algoritmos de medida, en lugar de dedicarse a conocer la calidad del propio suministro eléctrico.

La nueva norma IEC 61000-4-30 Clase A elimina las conjeturas a la hora de seleccionar con precisión un instrumento para

el análisis de calidad eléctrica. Esta norma define los procedimientos de medida de cada uno de los parámetros en base a los cuales se determina la calidad del suministro eléctrico para obtener de esta forma resultados fiables, repetibles y comparables. Además, define con claridad la precisión, el ancho de banda y el conjunto de parámetros mínimos.

OBTENCIÓN DE RESULTADOS FIALES, REPETIBLES Y COMPARABLES.

La normalización de las medidas de calidad eléctrica es relativamente reciente. En la norma IEC 61000-4-30 Clase A se describen los procedimientos de medida y se definen la precisión, el ancho de banda, el rango, la sincronización horaria (por ejemplo, por GPS) y un conjunto de parámetros mínimos, entre los que se incluyen:

- Frecuencia de alimentación
- Magnitud de la tensión de alimentación
- Flicker (parpadeo de tensión)*
- Armónicos e interarmónicos*
- Fluctuaciones
- Interrupciones
- Desequilibrios en la tensión de alimentación
- Transmisión de señales a través de la alimentación
- Cambios rápidos de tensión

* Los detalles correspondientes a los parámetros Flicker y Armónicos están descritos en la norma IEC 61000-4-15 y IEC 61000-4-7.

¿QUIÉN PAGA POR UN SUMINISTRO ELÉCTRICO DE CALIDAD DEFICIENTE?

La Calidad Eléctrica es un indicador del nivel de adecuación del sistema eléctrico de una empresa para soportar y garantizar un funcionamiento fiable de sus cargas. Un suministro eléctrico deficiente es un foco potencial de problemas



para motores, variadores de frecuencia, sistemas de iluminación y redes informáticas, entre otros, problemas que, en general, podrían evitarse. Muchas empresas infravaloran el impacto que puede tener una calidad eléctrica deficiente en sus instalaciones y negocios, impacto que en términos de tiempos de parada no planificados, pérdidas de producción, pérdidas de datos, fallos prematuros en los equipos, etc., puede suponer cuantiosas pérdidas económicas. Asimismo, este tipo de problemas puede dar lugar a facturas eléctricas innecesariamente elevadas e incluso sanciones por "contaminar" el punto de suministro y afectar a otros usuarios. Efectivamente, los consumidores eléctricos con suministro eléctrico pueden "contaminar" el suministro aguas arriba, dificultando a las subestaciones el cumplimiento de las disposiciones y obligaciones del contrato de suministro, aspecto por el cual otros usuarios podrían verse afectados negativamente.

CUMPLIMIENTO DE LAS DISPOSICIONES DEL CONTRATO

En estas circunstancias, es fácil comprender las razones por las que las compañías de suministro eléctrico deben supervisar la calidad de la energía eléctrica y en definitiva de su "producto" electricidad. Los niveles de calidad eléctrica mínimos se establecen contractualmente con la compañía suministradora, especialmente en el caso de los consumidores con aplicaciones críticas, como por ejemplo, los fabricantes de semiconductores. Es por ello, por lo que la tendencia es culpar a las compañías eléctricas

en caso de una calidad deficiente.

Sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo por expertos en calidad eléctrica demuestran que cerca de dos tercios de todos los problemas relacionados con el suministro eléctrico se producen en las propias instalaciones del usuario o cliente. Por ello, es fundamental poder determinar si el origen de una calidad deficiente del suministro eléctrico es debido a problemas generados dentro o fuera de las instalaciones de la empresa. Para solucionar las disputas sobre el origen de este tipo de problemas, es crucial realizar medidas de acuerdo con la norma IEC 61000-4-30, Clase A.

INSTRUMENTOS PARA LA MEDIDA DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO

Sólo los instrumentos específicamente diseñados para realizar funciones de localización de problemas, registro y análisis de parámetros de calidad del suministro eléctrico pueden proporcionar los datos necesarios para detectar el origen de las perturbaciones y diagnosticar el problema de forma correcta. Fluke dispone de toda una serie de instrumentos portátiles diseñados para la inspección de instalaciones y la localización y resolución de problemas relacionados con la calidad del suministro eléctrico, incluidos instrumentos capaces de identificar la presencia de perturbaciones, tales como armónicos y variaciones de tensión en cargas trifásicas y monofásicas. Estos instrumentos determinan la magnitud de las perturbaciones al instante, mostrando los resultados en una pantalla.

INSTRUMENTOS CONFORME A LA CLASE A

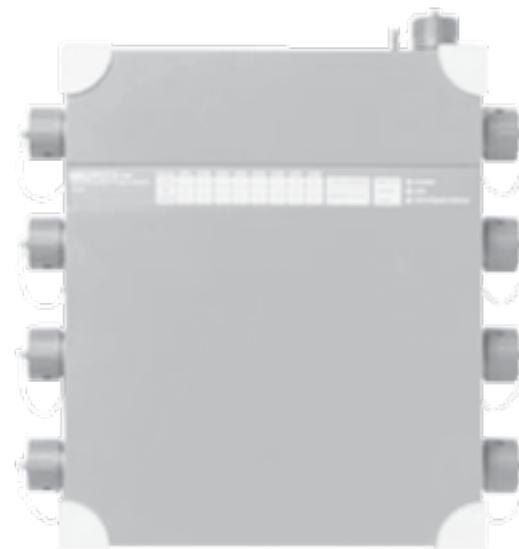
La nueva norma IEC 61000-4-30 Clase A elimina las conjeturas a la hora de realizar medidas de calidad del suministro eléctrico, convirtiéndose en la norma aceptada para comparar los resultados de las medidas y resolver las disputas relacionadas con la calidad del suministro eléctrico. Por ello, en muchas aplicaciones resulta fundamental el uso de instrumentos totalmente conformes con la norma IEC 61000-4-30 Clase A.

ANALIZADORES DE CALIDAD ELÉCTRICA

Desde el primer momento en que se sospeche que puede existir algún problema en el suministro eléctrico, es de vital importancia localizarlo y analizarlo. Aquí es donde el analizador de calidad eléctrica Fluke 435 Clase A resulta una herramienta imprescindible. La última incorporación a la Serie 430 cumple completamente con la norma IEC 61000-4-30 Clase A e integra funciones de registro, medidas configurables por el usuario y una memoria de gran capacidad. La presentación gráfica de los parámetros medidos proporciona al usuario resultados instantáneos, de manera que pueda localizar e identificar el origen de las perturbaciones antes de que se produzcan problemas graves. Gracias a prestaciones tales como los umbrales configurables, los factores de escala y la sincronización con hora GPS, este nuevo instrumento ofrece una correlación de datos precisa. El modelo 435 también cuenta con funcionalidad de registro y puede capturar eventos durante un período de tiempo determinado para su posterior análisis.



Analizador de Calidad Eléctrica Fluke 435



Registrador de Calidad Eléctrica Fluke 1760

REGISTRADORES DE CALIDAD ELÉCTRICA

Por otra parte, para la captura de perturbaciones intermitentes o la verificación en detalle de la calidad del suministro eléctrico durante un período de tiempo prolongado es necesario usar otro tipo de instrumentos. Para este tipo de tareas, es posible configurar y conectar en la instalación instrumentos de registro de parámetros de suministro eléctrico a los equipos durante un período de tiempo de, por ejemplo una semana, un mes o más. El nuevo analizador de calidad eléctrica Fluke 1760 ofrece todas estas prestaciones. Diseñado específicamente para los sistemas de distribución de electricidad industrial y de servicio público en redes de media y baja tensión, este analizador es capaz de capturar información detallada de los parámetros seleccionados por el propio usuario. Se utiliza para realizar análisis detallados de las perturbaciones y verificaciones de la calidad del suministro eléctrico conforme a la norma IEC 61000-4-30 Clase A.



Analizador de Calidad Eléctrica Fluke 435 con sincronización por hora GPS

Otra característica a destacar de este instrumento es la incorporación de un sistema de alimentación interrumpida, incluyendo una batería, de manera que se pueden capturar eventos

importantes incluso si se produce un corte en su alimentación. Su memoria de 2 GB permite el registro simultáneo de todos los parámetros durante un período de tiempo prolongado. Los datos obtenidos con este tipo de instrumento se procesan posteriormente mediante el software, permitiendo realizar el análisis de las causas de los problemas, resúmenes estadísticos y generar informes. Gracias a prestaciones tales como los umbrales configurables, los factores de escala y la sincronización con hora GPS, este nuevo instrumento ofrece una correlación de datos precisa.

El modelo 1760 también incorpora funciones de monitorización de datos en tiempo real y puede conectarse a la red de su empresa para una consulta más rápida y cómoda de los parámetros registrados.

alimentadas por el instrumento y el software PowerLog para el análisis de los datos y la generación de informes.



Registadores de calidad eléctrica Serie 1740 de Fluke

Los registradores de calidad eléctrica de la Serie 1740 son idóneos para la localización y resolución de problemas y el análisis diario en los sistemas de distribución eléctrica.

Los tres modelos ofrecen una selección de funciones para el análisis de las perturbaciones, el estudio de la carga y la verificación de la calidad del servicio conforme a las normas aplicables. La precisión de las medidas de tensión cumple con los requisitos de la Clase A. Los instrumentos son fáciles de configurar y pueden capturar eventos y registrar hasta 500 parámetros durante 85 días.



Configurando el equipo Fluke 1760 para el registro de parámetros a largo plazo

UNA SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE CALIDAD ELÉCTRICA CLASE A DE FLUKE

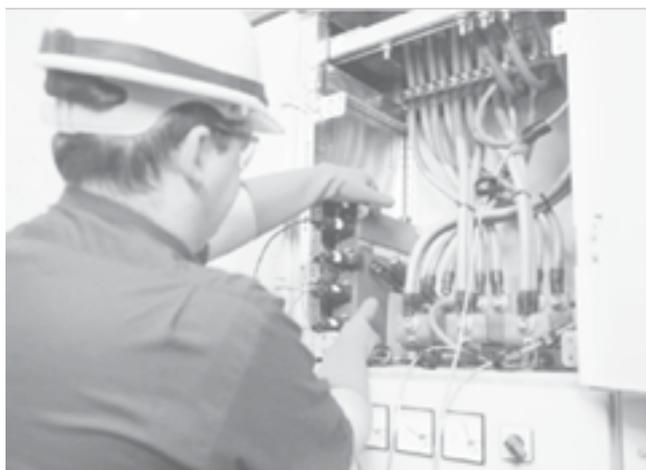
ANALIZADOR DE CALIDAD ELÉCTRICA FLUKE 435 CLASE A

El analizador trifásico de calidad eléctrica 435 cumple totalmente con los requisitos de la norma IEC 61000-4-30, Clase A, además de integrar funciones de registro avanzadas, medidas configurables por el usuario y una memoria de gran capacidad de almacenamiento para el registro detallado de eventos a largo plazo. Se entrega con sondas de corriente flexibles



Analizador de calidad eléctrica Clase A Fluke 1760

Diseñado para su uso en los sistemas de distribución de electricidad industriales y de servicio público en redes de media y baja tensión, el analizador de calidad eléctrica 1760 captura todos los datos necesarios para el análisis de las perturbaciones y realiza comprobaciones completas de la calidad del suministro conforme a la Clase A. Su configuración es rápida y sencilla, dispone de umbrales y factores de escala ajustables, sincronización con hora GPS, fuente de alimentación ininterrumpida y memoria de 2 GB.



Además del Fluke 435, los instrumentos de la Serie Fluke 1740 y el modelo Fluke 1760 conforme a la norma IEC 61000-4-30 Clase A, Fluke también pone a disposición de técnicos e instaladores profesionales toda una gama de instrumentos para la medida de la calidad del suministro eléctrico como, por ejemplo registradores y analizadores de uso general e instrumentos para la detección y resolución de problemas.

Si desea obtener más información y especificaciones técnicas más detalladas, visite nuestra página Web en www.fluke.es

Fluke. Manteniendo su mundo en marcha.

Fluke Ibérica, S.L.
Polígono Industrial de Alcobendas
C/Aragoneses, 9-11 post
28108 Alcobendas
Madrid
Tel.: 914140100
Fax: 914140101
E-mail: info.es@fluke.com

Web: www.fluke.es

© Copyright 2006, Fluke Corporation. Reservados todos los derechos. Impreso en los Países Bajos 09/06. Las especificaciones están sujetas a modificación sin previo aviso
Pub_ID 11149-spa

Informes y Consultas:



Nueva Dirección: Av. Beni,
Calle Mururé No 2055
Nuevo teléfono: 3 3433818
Email: helios@helios.com.bo
Web: www.helios.com.bo
Santa Cruz - Bolivia

DIFERENCIAS ENTRE VARIADOR DE FRECUENCIA DE 6 PULSOS (ESTÁNDAR) Y VARIADOR DE FRECUENCIA AFE (ACTIVE FRONT END)

ROGHUR S.A.

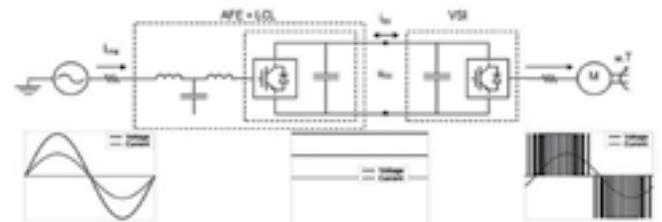
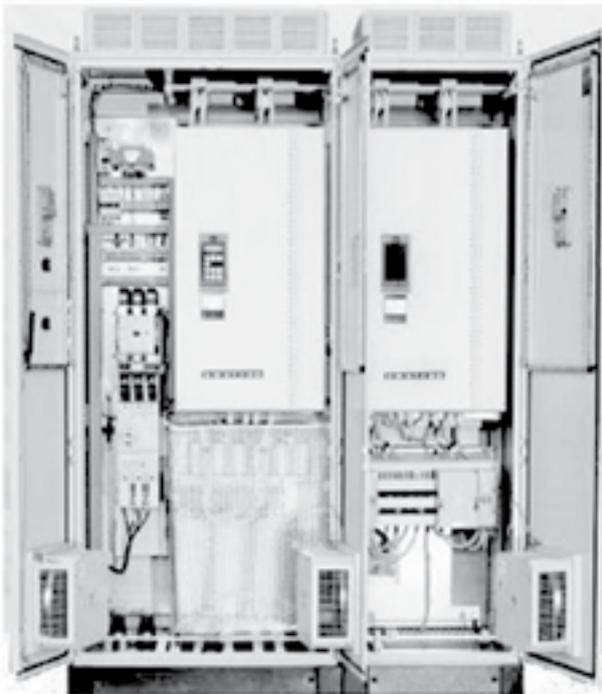
El objetivo del presente artículo, es de mostrar las principales características de un Variador de Frecuencia Active Front End, y denotar las diferencias existentes con respecto a un Variador de Frecuencia de 6 pulsos.

Para esto vamos a explicar el principio de funcionamiento de cada uno para posteriormente realizar un cuadro comparativo que permita cuantificar las prestaciones y mejoras de un Variador AFE.

Un Variador de Frecuencia Estándar, es aquel que está compuesto por un puente rectificador de diodos, en donde la distorsión armónica nunca será inferior al 60%, y en caso de tener filtros DC CHOKE se logra atenuar la distorsión hasta un 30% y aún así no se cumple con la IEEE-519.

Una de las principales desventajas de un puente rectificador por diodos, es que si la tensión de alimentación llegase a caer, el diodo no puede interrumpir la corriente, lo que puede causar que los fusibles se fundan y que los componentes del equipo corran peligro.

- Simple, Robusto
- Factor de Potencia ($\cos \phi$) ~ 1
- 1Q-operation, $I_{dc} > 0$ (Velocidad y Torque Positivo)
- THD $\sim 30\%$ (Distorsión Armónica)
- AC/DC choke
- $U_{dc} \sim 1.35 \cdot U_{line}$

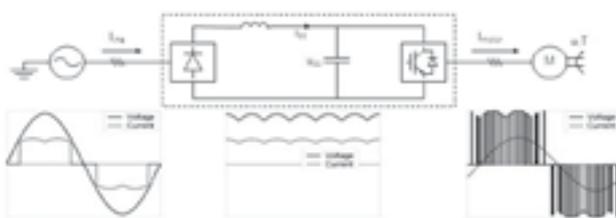


COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA AFE (ACTIVE FRONT END)

Un Variador de Frecuencia AFE (Frente Activo) posee cambios significativos con respecto a un Variador Estándar, ya que su etapa rectificadora posee elementos activos IGBT's, con esto, la etapa rectificadora es capaz de cortar la corriente y proteger los componentes del equipo. El control de los IGBT's puede funcionar incluso en una caída de tensión.

Los Variadores de Frecuencia AFE de CG EMOTRON, son soluciones integradas en gabinetes IP54, en donde además se cuentan

COMPOSICION DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA ESTANDAR DE 6 PULSOS



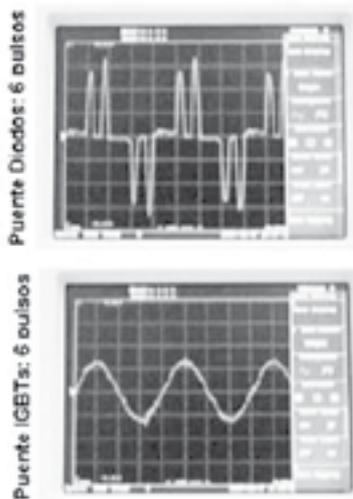
con el filtro LCL, logrando así en conjunto con la etapa rectificadora compuestas por IGBT una distorsión armónica THDI < 5%.

- 4Q-operation, $\pm Idc$
- THD < 5%
- $U_{dc} > \hat{U}_{line}$
- Power factor ($\cos \phi$), $\pm Q$
- Price, Size
- Efficiency
- Line filter
- Sound

Beneficios del Puente Rectificador Activo (IGBT's)

Reducción de Armónicos

- Un correcto método de control del puente rectificador, elimina los armónicos por debajo de la frecuencia de conmutación (alrededor de los 3kHz).
- Un filtro de red tipo LCL (senoidal) elimina los armónicos por encima de la frecuencia de conmutación (radio frecuencia conducida).
- El resultado es una intensidad de red prácticamente senoidal con un THD (i) menor del 5%.
- Todo ello además sin requerimiento de un transformador especial o dedicado.
- Disminución drástica del nivel de distorsión armónica de corriente hace que tengamos menores pérdidas en él.
- Factor de Potencia 1 a cualquier nivel de carga.



Norma IEEE-519

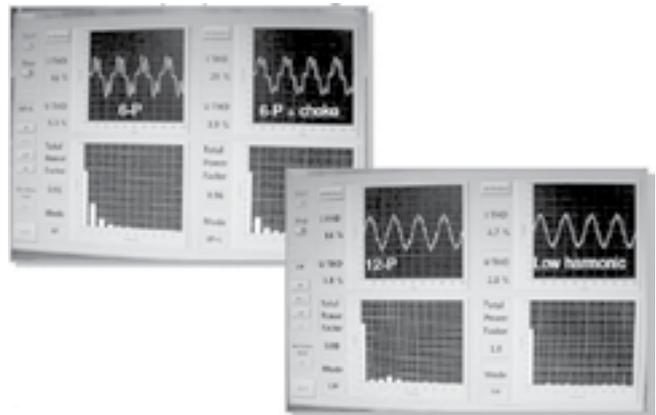
Superamos las exigencias de la norma IEEE-519 en distorsión de corriente y tensión.

IEEE Std 519-1992, Current Distortion Limits
System Issues

Table 10.3
Current Distortion Limits for General Distribution Systems

IRV / IL	<11	11<IRV<17	17<IRV<23	23<IRV<35	35<IRV	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15

Tecnología y Solución para mitigación de Armónicos. / Comparativa de métodos



En la comparación de métodos es posible observar los porcentajes de mitigación que se obtienen utilizando diferentes métodos. Obviamente las soluciones con menor distorsión armónica son las de mayor costo.

Gracias a este cuadro es posible evaluar las diferentes soluciones, cuantificando las soluciones que ofrecen diversos fabricantes de Drives (Variadores de Frecuencia).

METODO	THD (i)
Sin mitigación (nivel de referencia)	70-80 %
Reactancia de línea 5 % (o en bus CC equivalente)	33-40 %
Reactancia de línea 5 % más filtro pasivo de 5º armónico	12-14 %
Rectificador de 12 pulsos con transformador de impedancia 5 %	10-12 %
Filtro pasivo híbrido	6-10 %
Rectificador de 18 pulsos con transformador de impedancia 5 %	5-8 %
Convertidor regenerativo	3,5-4,5 %
Rectificador de 12 pulsos con transformador de impedancia 5 % + Filtro pasivo de 11º armónico	4 %
Filtro Activo	2 %

AFE v/s Otras Alternativas

AFE

- IGBT, autoconmutado, por pulsos rectificador-unidad de retroalimentación
- Incluye los componentes del filtro de línea (LCL)
- El mejor rendimiento THD en general. Flexibilidad y típicamente menos de 5% THD-I.
- Cumple con los requisitos de IEEE-519
- Mayor Costo

12-pulso conexión (2x6-pulso)

- Alimentado por 3-bobina del transformador
- Típicamente 10-15% THD-I

18-pulso conexión (3x6-pulso)

- Eficientemente si esta correctamente diseñado, pero es una solución costosa y voluminosa
- Típicamente 6-9% THD-I



Smart solutions.
Strong relationships.

INFORMES Y CONSULTAS



ROGHUR S.A.

OFICINA CENTRAL:
Calle Arenales Nro. 451
Telf.: 336 9494
SANTA CRUZ - BOLIVIA

UNIDAD DE NEGOCIOS LA PAZ:
Av. 20 de octubre No. 1948
(Edif. Terranova)
Telf.: 242 2884 – 242 2114
e-mail: roghur@lpz.roggur.com

UNIDAD DE NEGOCIOS COCHABAMBA
Av. Blanco Galindo Km 2 ½
Telf.: 422 6498