

ESTUDIOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN ELECTRÓNICA EN LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA E.E.Q.S.A.

Montaluisa Carlos Vinicio
vmontaluisa@eeq.com.ec

Tapia Luis
ltcsi@hotmail.com

Abstract

The system of electronic mensuration implanted in the Empresa Electrica Quito S.A. it has been able to increase the capacity of measure of the traditional method of manual mensuration; that is to say the acquired information has an appropriate grade of accuracy and its registrations are processed quickly and they can be stored in periods of great extension.

The work describes the importance of locating electronic meters in the exit of the primary feeders of the network of distribution of E.E.Q.S.A.

It is presented the results of the mensurations: load curves, given energy, as well as the determination of the factors of losses for feeder and their relationship with the load factor.

An important aspect is to obtain the curve of losses based in the curve of load of a feeder, so that its energy of losses is also known.

Resumen

El sistema de medición electrónica implantado en la Empresa Eléctrica Quito S.A. ha conseguido incrementar la capacidad de medida del método tradicional de medición manual; es decir la información adquirida tiene un adecuado grado de exactitud y sus registros son procesados rápidamente y pueden ser almacenados en períodos de considerada extensión.

El trabajo describe la importancia de ubicar medidores electrónicos en la salida de los alimentadores primarios de la red de distribución de E.E.Q.S.A.

Se presenta los resultados de las mediciones: curvas de carga, energía suministrada, así como la determinación de los factores de pérdidas por primario y su relación con el factor de carga.

Un aspecto importante resulta la obtención de la curva de pérdidas a partir de la curva de carga de un primario, de manera que su energía de pérdidas también es conocida.

I. Introducción

El análisis de un sistema de distribución posee un aspecto esencial para poder estudiar cualquier red eléctrica y que es, la de disponer los instrumentos capaces de medir y registrar los principales parámetros de la misma.

La medida es necesaria entre otros usos: para que el operador conozca el estado del sistema eléctrico, para poder controlar la calidad del suministro, para cuantificar la energía consumida, para establecer tendencias de consumo, planificando así la compra necesaria de energía y la expansión de su sistema.

Ante esta premisa la Empresa Eléctrica Quito EEQ, dispuso la instalación de medidores electrónicos a la salida de los alimentadores primarios y de su correcta operación depende un conocimiento cabal de la energía disponible en el sistema de distribución.

II. Objetivo

Exponer las principales ventajas y réditos que presenta un sistema de medición electrónica y una base de datos encargada del tratamiento de dicha información dentro de un Sistema de Distribución.

III. Definiciones y Generalidades

A. Medir.

Es la acción necesaria para cuantificar un suceso o evento, esta acción consiste en comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de establecer cuantas veces la segunda esta contenida en la primera. [R1]

B. Valor Eficaz RMS.

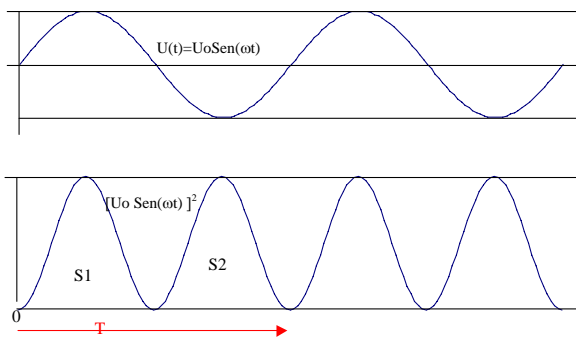


Figura 1 - Formas de onda senoidal

En una función periódica es la media cuadrática de la función a lo largo de un período es decir: la raíz cuadrada del promedio de cuadrados de los valores instantáneos dada por la ecuación. [R1]

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u(t))^2 dt} = \sqrt{\frac{S1 + S2}{T}} \quad (1)$$

C. Demanda Dp

Dp es la potencia promedio en un intervalo de tiempo específico conocido como intervalo de demanda Δt (generalmente 15 minutos). [R1]

D. Curva de Carga

Es la relación entre los requisitos de potencia y el tiempo de ocurrencia. Ilustra la magnitud variante de la carga durante el período de estudio. [R2]

E. Factor de carga (Fc)

Es la relación entre la demanda promedio (DPromedio) en un periodo determinado de tiempo y la demanda máxima (DPmax) ocurrida en tal periodo. También se puede decir que es la demanda promedio expresada en por unidad referida a la carga máxima. [R9]

$$F_C = \frac{D_{Pr\ omedio}}{D_{P\ max}} \quad (2)$$

El factor de carga nos indica el aprovechamiento de la potencia instalada para satisfacer la demanda; así un bajo factor de carga indica picos de demanda excesivamente grandes frente a una demanda promedio que podría ser atendido con equipos de capacidades menores.

F. Energía Suministrada

Es la energía que la red entrega al usuario al utilizar una determinada potencia (kW) a través del tiempo (horas) y está medida generalmente en kilovatios-hora (kWh). [R9]

G. El Factor de Pérdidas Fp

Es la relación entre la demanda promedio de pérdidas (D_{PRL-Promedio}) en un periodo determinado de tiempo y la demanda máxima de pérdidas (D_{PRL-max}) ocurrida en tal periodo. [R9]

$$F_P = \frac{D_{PRL-Promedio}}{D_{PRL-max}} \quad (3)$$

Imaginemos que se tiene la curva de pérdidas; entonces el factor de pérdidas indica el grado de las pérdidas de carga dentro del sistema mientras la carga máxima es mantenida a través del período en que las pérdidas están siendo consideradas.

IV. Medidores Digitales



Figura 2 – Medidores digitales

La gama de instrumentos industriales disponibles para medida de parámetros de la red eléctrica va desde los clásicos indicadores de aguja, pasando por los indicadores digitales hasta llegar a los de última generación, llamados “analizadores de red”. [R2]

Los medidores expresan con ayuda de indicadores de cifras o impresiones de valores, los resultados directamente en forma de números.

Aparte de que los resultados así representados se pueden leer cómodamente y sin error adicional, resultan muy sencillos el almacenamiento, la transmisión a distancia y la elaboración de los valores cuantificados.

La forma común de los medidores electrónicos de capturar y procesar los datos consiste en tomar muestras de las ondas de voltaje y/o corriente y obtener los valores instantáneos en cada uno de los puntos de muestreo.

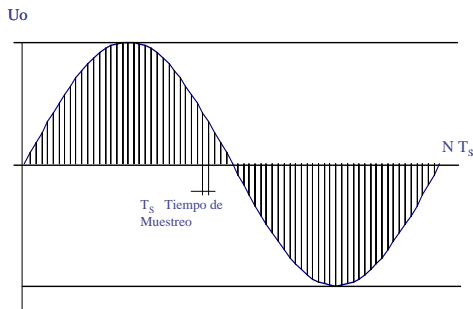


Figura 3 - Muestreo

En cada punto se obtiene un valor numérico. Posteriormente se procesan los valores numéricos de uno a varios ciclos, obteniéndose los valores eficaces, las potencias e información sobre perturbaciones de todo tipo de métrica. [R2]

Por tanto la precisión de las medidas o registros, esta dada por la cuantificación.

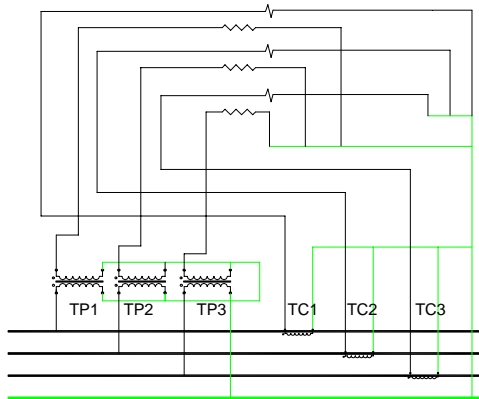


Figura 4 - Diagrama de conexiones

Respecto de las normas para medir magnitudes eléctricas; estas varían alrededor del mundo, pero la mayoría puede rastrear sus orígenes ya sea al Instituto de las Normas Nacional Americano (ANSI) o la Comisión de Electrotécnica Internacional (IEC). Es común la utilización de las normas de la referencia de

ambas organizaciones. Algunas entidades instalan medidores de cada tipo en el mismo sistema, y los adelantos en el diseño de medidores electrónicos puede permitir obedecer los requisitos de ambas normas.

Tabla 1 Normas ANSI

DESIGNACIÓN	TITULO
ANSI C12.1-2001	Code For Electricity Metering
ANSI C12.10-1997	Electromechanical Watthour Meters
ANSI C12.18-1995	Protocol Specification for ANSI Type 2 Optical PORT
ANSI C12.19a-2001	Utility Industry End Device Tables
ANSI C12.20-1998	Electricity Meters 0.2 and 0.5 Accuracy Class
ANSI C12.21-1999	Protocol Specification for Telephone Modem Communications

Como las series de las normas IEC para mediciones eléctricas, las series de ANSI C12 cubren tanto equipos para las mediciones eléctricas y protocolos de comunicación para los medidores. Hay tres normas activas para equipos de medida y tres normas activas para las comunicaciones con los medidores.

V. Resultados de las Mediciones en Alimentadores Primarios

A. Curvas de Carga

Una vez realizadas y procesadas las lecturas; su flexibilidad así como su importancia se puede observar visualmente, un ejemplo muy claro es el caso de las curvas de carga en donde se aprecia su comportamiento.

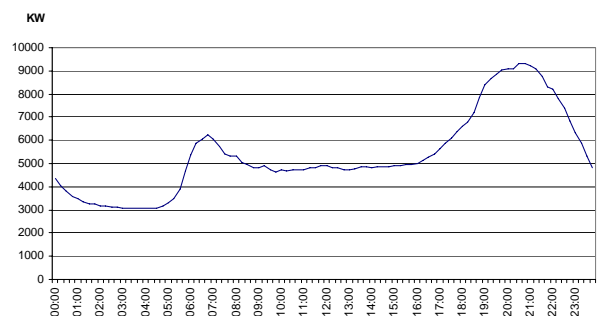


Figura 5 - Carga Tipo Residencial - Primario 21B

Un claro ejemplo de una carga típicamente residencial evidencia la figura anterior en donde las actividades y hábitos de consumo inician desde las 06:00 am hasta las 08:00 am y especialmente son notorias en demanda máxima cuyo pico tiene una formación a partir

de las 18:00 pm – 21:00 pm; horas en que los usuarios residenciales inciden su consumo simultáneamente en equipos de iluminación y entretenimiento.

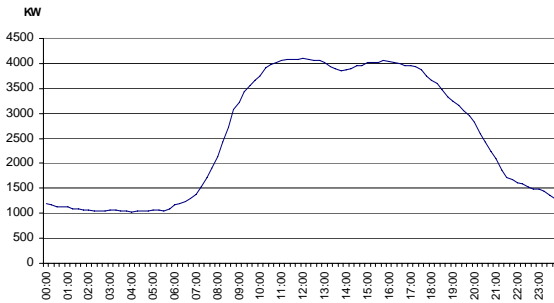


Figura 6 - Carga Tipo Comercial - Primario 28A

De similar forma se puede decir que la curva anterior corresponde a una carga netamente comercial, pues las actividades comerciales son un acontecimiento periódico que inician drásticamente desde las 9:00 am y finalizan de igual forma hacia las 20:00 pm, observando además un ligero receso para el almuerzo en horario de 13:00 a 14:00 .

En ambas curvas presentadas anteriormente se tiene dos acontecimientos básicos como son las denominadas horas pico – demandas máximas- y las horas valle, estas últimas provenientes fundamentalmente por parte del consumo en alumbrado público.

Una forma ideal de consumo representa la curva para el sector industrial, como la mostrada para el Primario C de la Subestación San Rafael, en donde el uso constante las 24 horas del día por parte de industrias evidencia un consumo sin la presencia de pico y valles que pueden alterar su producción o incrementarla drásticamente.

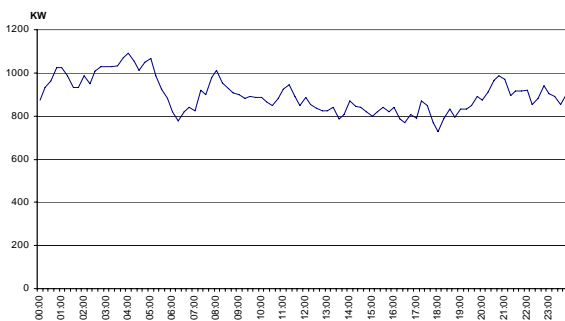


Figura 7 - Carga Tipo Industrial - Primario 27C

Finalmente es posible mediante este tipo de ilustraciones monitorear los estados operativos

de los transformadores de potencia y establecer si estos se encuentran operativamente en regímenes normales o de sobrecarga.

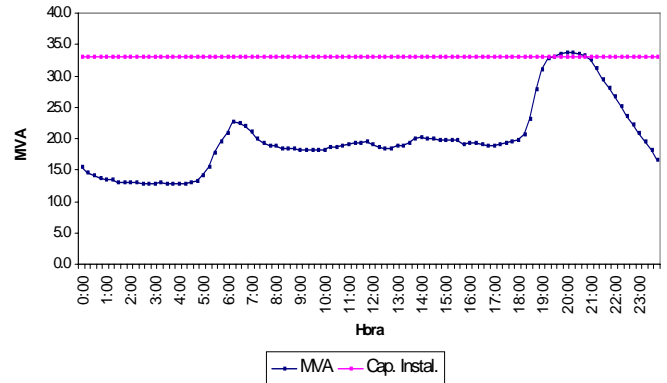


Figura 8- Salida Transformador Eugenio Espejo (No 59)

La gráfica presenta una ligera sobrecarga, para el período de estudio, sin embargo es necesario conocer en detalle las propiedades operativas de transformador para establecer si esta sobrecarga afecta gravemente al transformador y así poder definir acciones puntuales.

B. Análisis Gráficos

Dadas las propiedades de los medidores; es posible el análisis gráfico de los diferentes parámetros registrados dentro de la memoria del equipo de medición. Pudiendo ser representaciones visuales del comportamiento de los voltajes (fluctuaciones), corrientes (desbalances), y factor de potencia (comportamiento reactivo) durante el día e incluso durante periodos de estudios mayores como es caso de un análisis mensual.

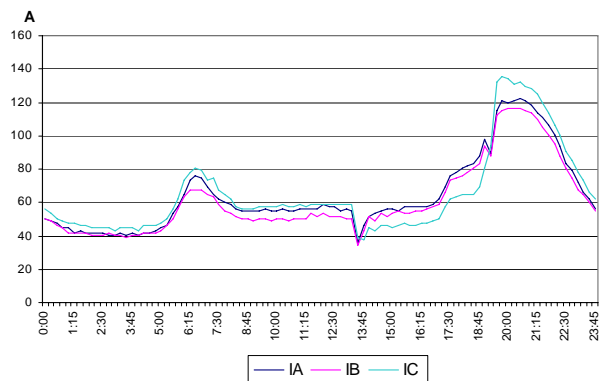


Figura 9 -Entrenamiento de corrientes primario (59A)

Mediante el enfrentamiento simultáneo de las corrientes, es posible conocer en cualquier

alimentador primario, el desbalance existente por cada fase; evaluar una posible sobrecarga que induzca excesos en las pérdidas resistivas e incluso la violación al límite de capacidad de la línea que provoque su colapso térmico.

Un análisis muestra un claro desbalance de corrientes y en especial de la corriente correspondiente a la fase A, cuyo desbalance máximo llega al 15.1%. Posterior a de dicho análisis plantear soluciones inmediatas como la transferencia de carga entre fases de un mismo primario es prioritaria.

C. Energía Suministrada

Conocidos los parámetros de la curva de carga en los diferentes primarios, el conocimiento de la energía suministrada (Es) por dicho primario está implícito mediante la ecuación:

$$E_{S(kWh)} = \sum D_{pi} \times \Delta t_i \quad (4)$$

donde: D_{pi} es la potencia promedio en un intervalo de tiempo específico conocido como intervalo de demanda Δt_i . [R9]

Así, el conocimiento de la energía suministrada por primario lleva al conocimiento de la energía suministrada por subestación y similar análisis por subestación conduce a la energía suministrada del sistema.

El gráfico muestra la curva de carga para el sistema completo de la Empresa Eléctrica Quito S.A. con fecha 14 de diciembre del 2005 determinado como el día de demanda máxima del sistema para dicho año.

En la figura se advierte claramente una influencia en regímenes de consumo del tipo de los abonados residenciales y esto ratifica la influencia de 554 927 abonados residenciales que contemplan el 85.0 % de los usuarios totales del E.E.Q.S.A.

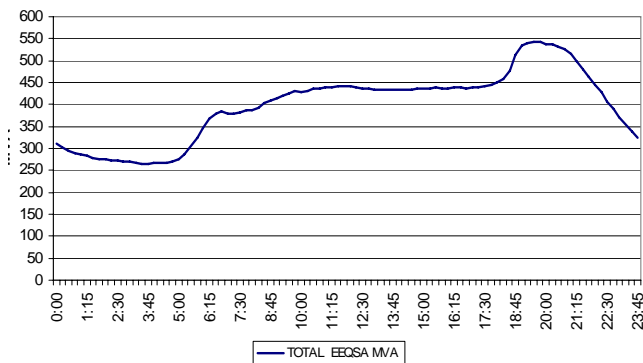


Figura 10 - Demanda Sistema Quito

Los siguientes datos son representativos para la curva de carga EEQSA:

$$D_{MAX} EEQSA = 531.82 \text{ MW}$$

$$FC EEQSA = 0.70$$

$$E_s EEQSA = 8.9345 \text{ GWh}$$

También es posible llegar al mismo resultado y obtener la energía suministrada mediante el vínculo existente entre el factor de carga, la demanda máxima y el periodo de estudio así:

$$E_s = D_{PDmax} \times \Delta t \times F_C \quad (5)$$

De la información obtenida por cada subestación se desprende los porcentajes de consumo, así resulta que la mayor incidencia del consumo por nivel de voltaje 57.30% se presenta en las subestaciones a 22.8 kV; y en mayor porcentaje en la subestación Cristiana (No 18); por tal motivo operativamente esta subestación debe ser ubicada como alta prioridad operativa, seguida por el orden destacado en el siguiente gráfico.

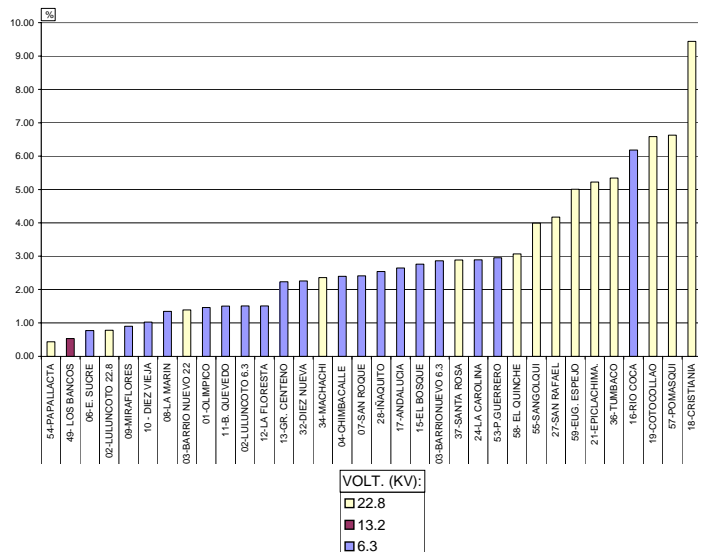


Figura 11 - Incidencia de Consumo por S/E

D. Pérdidas Resistivas

Es posible determinar las pérdidas resistivas en los alimentadores primarios mediante el procedimiento determinado en el documento "A new method to calculate the power distribution losses in an environment of high unregistered loads" de la IEEE [R10] y mediante las modelaciones del primario por medio del programa FEEDER ALL

desarrollado por la A.B.B. (Licencias propias de la E.E.Q.S.A.) que determina las pérdidas en demanda máxima (D_{RL-max}) mediante la simulación de flujos de potencia.

Ahora bien: la demanda de pérdidas resistiva a demanda máxima (D_{RL-max}) de la carga (D_{Pmax}) se determina de:

$$D_{RL-max} = I_{max}^2 \times R = \left[\frac{D_{Pmax}}{\sqrt{3V \cos \phi_{max}}} \right]^2 \times R \quad (6)$$

de forma similar la demanda de pérdida resistiva (D_{RL-i}) a una demanda i cualquiera de la carga (D_{Pi}) se calcula con la ecuación:

$$D_{RL-i} = I_i^2 \times R = \left[\frac{D_{Pi}}{\sqrt{3V \cos \phi_i}} \right]^2 \times R \quad (7)$$

de donde la relación de las dos ecuaciones (6) y (7) será:

$$D_{RL-i} = \left(\frac{D_{Pi} \cos \phi_{max}}{D_{Pmax} \cos \phi_i} \right)^2 D_{RL-max} \quad (8)$$

El procedimiento seguido también demuestra que el factor de pérdidas puede determinarse mediante la siguiente fórmula: [R10]

$$F_P = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{Pi} \cos \phi_{max}}{D_{Pmax} \cos \phi_i} \right)^2}{n} \quad (9)$$

Este método diferencia del método tradicional, basado en un factor de pérdidas calculado a partir del factor de carga que no toma en consideración la forma de la curva de carga de cada subsistema.

Similar a lo sucedido con el factor de carga, el factor de pérdidas permite determinar la energía de pérdidas por efecto de las pérdidas resistivas dentro del periodo de estudio Δt . [R9]

$$E_{Pérdidas} = D_{RL-max} \times \Delta t \times F_P \quad (10)$$

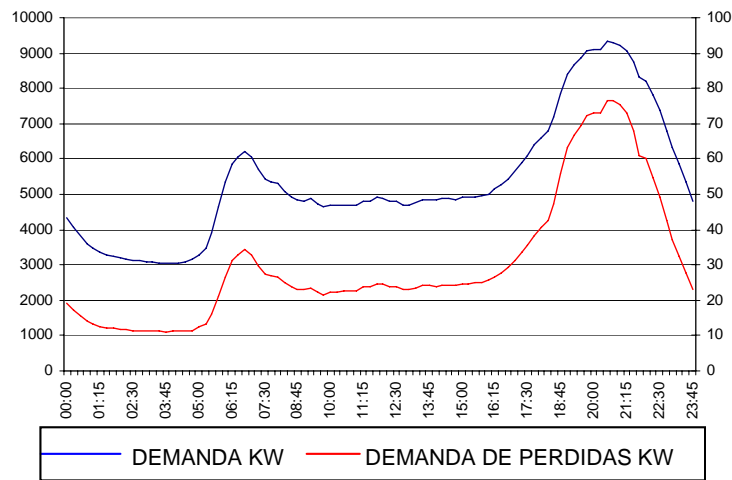


Figura 12 - Curva de Carga y Curva de Pérdidas Primario B S/E 21

Es decir: al aplicar la fórmula anterior a cada una de las demandas de la carga se obtendrá la curva de demandas de pérdidas resistivas;

También al obtener dicha curva de pérdidas la sumatoria de las demandas de pérdidas resistivas multiplicado por el intervalo de demanda representa la energía de las pérdidas resistivas en el período de registro.

E. Relación entre el Factor de Carga y Factor de Pérdidas

Mediante la obtención de los distintos factores de carga y factores de pérdidas correspondientes a los diferentes alimentadores primarios de la red de distribución, resulta muy conveniente relacionar ambos parámetros de manera que el factor de pérdidas sea una función del factor de carga.

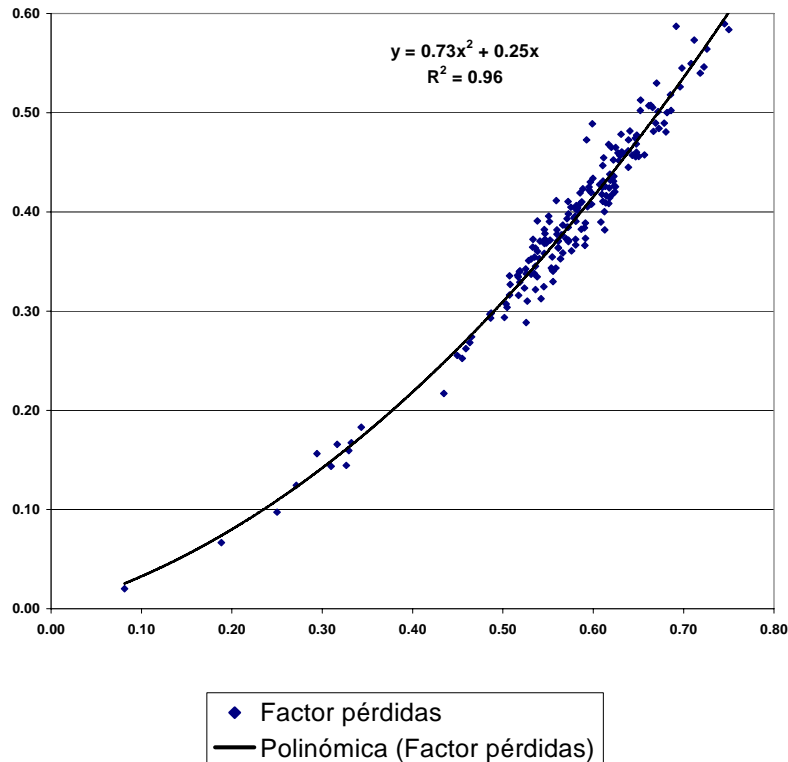


Figura 13 - Factor de Pérdidas vs Factor de Carga

En la figura se puede observar claramente el comportamiento entre ambas variables; más aún su regresión polinomial exhibe la fórmula y los coeficientes propuestos en destacados libros de sistemas de distribución, así se tiene:

$$F_p = AF_C + (1-A) F_C^2 \quad (11)$$

Donde $A_{EEQSA} \approx 0.25$

El resultado lejos de sorprender con su efecto, corrobora el procedimiento empleado para el cálculo de las Pérdidas Técnicas empleado por la E.E.Q.S.A.

Adicionalmente se obtuvo el coeficiente de determinación de la regresión R^2 , así :

si $R^2 = 1$ indica que todos los puntos graficados coinciden con la línea obtenida para la regresión.

En nuestro caso $R^2 = 0.96$, lo que demuestra nuestro grado de aproximación como válido.

F. Reportes Inmediatos

Dado la importancia de todas las mediciones efectuadas en cada uno de los alimentadores primarios y barras de alimentación existe

actualmente una base de datos mediante lenguaje de programación Oracle; misma que es actualizada mensualmente y en donde se ingresa los registros de los diferentes medidores generando los siguientes beneficios:

- Recuperación de los registros de medición en cualquier instante y lugar a través del sistema de comunicaciones local de la Empresa Eléctrica.

- El acceso a las diferentes mediciones anteriores a la fecha en curso permite un análisis del tipo histórico que posibilita una planificación acertada en el Sistema de Distribución.

- Emisión de reportes de manera inmediata de forma rápida y efectiva; esto debido a que simultáneamente se analiza en promedio unos 150 primarios por reporte en cuestión de minutos, labor que de ser realizada en forma manual llevaría un periodo de tiempo determinado en días.(Ver Anexo 1).

En resumen las mediciones en los diferentes alimentadores primarios proporcionan el soporte técnico que beneficia directamente varios estudios de ingeniería que hasta muy

poco se lo realizaban empíricamente o manualmente.

VI. Conclusiones

El sistema de medición electrónica ha conseguido incrementar la capacidad de medida al método tradicional de medición manual: es decir la información requerida tiene un adecuado grado de exactitud y sus registros son obtenidos y procesados rápidamente; pudiendo ser almacenados en períodos de considerada extensión gracias a la implantación de una base de datos.

Este sistema es bastante versátil, permitiendo realizar todo tipo de consultas y reportes en tiempos extremadamente; cortos reportes como:

- Reportes de demandas coincidentes
- Reporte de energía por períodos

Un sistema de medición electrónica resulta una herramienta fundamental en el proceso de cálculo de las Pérdidas Técnicas empleado por la EEQSA, pues como se observo del resultado de las mediciones realizadas, tanto el factor de carga y factor de pérdidas guardan una relación inequívoca fácilmente comprobada como:

$$F_p = AF_c + (1-A) F_c^2 \quad (11)$$

Con $A \approx 0.25$ para el sistema EEQSA, pudiendo variar sustancialmente para otros sistemas de distribución; dependiendo de la influencia que tenga los tipos de usuarios sobre el nuevo sistema de distribución en análisis.

No siempre es conveniente tender a alcanzar la mayor precisión posible, ya que por lo general los aparatos resultan más costosos cuanto mayor sea su calidad y en ocasiones aumenta su sensibilidad a las perturbaciones del sistema; sobre todo, como se observó la medición obtenida es únicamente un estimado del parámetro sujeto a medición.

VII. Recomendaciones

Se debe mejorar la capacitación del personal, referente a la operación y conocimiento de las características de cada tipo de medidor adquirido y de igual forma es responsabilidad del personal técnico mantener dichas habilidades, se recomienda una lectura

completa de los diferentes manuales si se pretenden aprovechar realmente las propiedades de cada elemento.

Administrar correctamente la base de datos Oracle es decir; que las mediciones ingresadas contengan únicamente datos que representen claramente las características operativas del sistema de distribución y que el personal a cargo de la base de datos promueva medios de "interface" de manera de realizar consultas y reportes sobre las mediciones contenidas.

VIII. Bibliografía

- [R1] Medidas Eléctricas.- Ramírez Vázquez enciclopedia CEAC Barcelona España 1984
- [R2] Calidad y Uso Racional de la Energía Eléctrica - CIRCUTOR- España 2001
- [R3] Catalogo ABB - Ing. Luis TAPIA
- [R4] Manual medidor Landis
- [R5] Manual medidor Nansen
- [R6] A Comparative Introduction to ANSI Metering Standart – Metering International Magazine febrero -2003
- [R7] Manual de Funciones E.E.Q.S.A.
- [R8] Manual de Funciones de La Unidad de Pérdidas Técnicas
- [R9] Proyecto de Control y Reducción de Pérdidas - OLADE Quito Ecuador 2000
- [R10] A New Method to Calculate the Power Distribution Losses in an Environment of High Unregistered Loads IEEE - Ing. Mentor Poveda

IX. Biografía



Nacido en Quito el 29 de julio de 1976, realizó sus estudios secundarios en el Instituto Superior Central Técnico y sus estudios superiores

los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el Título de Ingeniero Eléctrico.

Actualmente está encargado de los estudios eléctricos del sistema de potencia dentro del Departamento de Planificación de la Empresa eléctrica Quito S.A.

ANEXO 1 REPORTE DE MEDICIONES - A PARTIR DE LA BASE DE DATOS

5	Primario	Voltaje Nominal [kV]	Voltaje fase U [V]	Voltaje fase V [V]	Voltaje fase W [V]	Corriente fase U [A]	Corriente fase V [A]	Corriente fase W [A]	Demanda Maxima [kW]	Potencia Reactiva a Dmax [kVAr]	Factor de Potencia a Dmax	Fecha Dmax	Hora Dmax	Factor de carga	Factor pérdidas	Energía Mensual [MWh]
OLIMPICO	01D	6.3	3576	3586	3557	256	245	265	2583	855	0.9493	24-Dec-05	19:45	0.6478	0.4932	1245.00
OLIMPICO	01E	6.3	3605	3624	3614	300	294	300	3024	1123	0.9374	13-Dec-05	18:45	0.6292	0.4497	1415.54
LULUNCOTO	02A	22.8	12302	12287	12348	177	148	132	5385	1612	0.958	13-Dec-05	20:30	0.5295	0.3332	2121.43
LULUNCOTO	02B	6.3	3586	3590	3562	186	186	184	1862	711	0.9341	05-Dec-05	9:30	0.6353	0.4592	879.90
LULUNCOTO	02C	6.3	3581	3629	3629	194	207	200	2056	668	0.951	19-Dec-05	20:30	0.5516	0.3839	843.95
LULUNCOTO	02D	6.3	3542	3590	3605	282	228	317	2834	743	0.9673	11-Dec-05	20:15	0.5333	0.3471	1124.41
CHIMBACALLE	04A	6.3	3533	3552	3566	294	256	282	2825	821	0.9602	13-Dec-05	20:45	0.5138	0.3255	1080.12
CHIMBACALLE	04B	6.3	3514	3542	3547	392	380	400	4009	968	0.972	13-Dec-05	20:30	0.5398	0.3383	1610.16
CHIMBACALLE	04C	6.3	3499	3514	3538	282	276	300	2877	881	0.9561	08-Dec-05	19:30	0.5540	0.3664	1185.89
CHIMBACALLE	04D	6.3	3504	3523	3552	343	366	348	3620	847	0.9737	08-Dec-05	20:15	0.6149	0.4172	1656.16
CHIMBACALLE	04E	6.3	3509	3528	3552	130	132	127	1313	389	0.9588	08-Dec-05	20:30	0.5352	0.3556	522.97