

# AUDITORÍA ENERGÉTICA ELÉCTRICA DE UN EDIFICIO PÚBLICO

Chang Vergara Eduardo Javier  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
echang@fiee.espol.edu.ec

## Resumen

*El proyecto de auditoría energética eléctrica se desarrolló en función de la metodología aplicada. Esta metodología comprende cinco etapas que son las siguientes:*

- *Primera etapa: Reunir datos técnicos sobre el edificio.*
- *Segunda etapa: Mediciones y toma de datos relevantes del sistema eléctrico de la edificación.*
- *Tercera etapa: Diagnóstico del edificio. En base a la toma de datos se obtienen los resultados de dichas mediciones y se realiza un levantamiento de cargas complementándolo con el análisis técnico del historial de facturación eléctrica.*
- *Cuarta etapa: Identificación de las mejoras energéticas más importantes. Su importancia está en función del ahorro energético que se obtendrá al aplicar las propuestas técnicas planteadas.*
- *Quinta etapa: Viabilidad económica de las propuestas de ahorro energético analizadas. Es necesario demostrar que efectivamente tales propuestas tendrán beneficios económicos y que su inversión podrá ser recuperada en un tiempo prudencial.*

*Es necesario recalcar que se encontraron algunas anomalías eléctricas, pero considerando los costos de inversión, el porcentaje de energía desperdiciada y el impacto que pudiera tener a futuro en las instalaciones eléctricas, se identificaron dos focos potenciales de ahorro energético como son el "filtrado de armónicos" y "aumento del factor de potencia".*

**Palabras Claves:** *Auditoría Energética, Corrección del Factor de Potencia, Reducción del Tercer Armónico, Pérdidas por Efecto Joule.*

## Abstract

*The electric energy audit project was developed based on the methodology applied. The methodology comprises five stages are:*

- *First stage: Collecting technical data on the building.*
- *Second step: take measurements and relevant data of the electrical system of the building.*
- *Third stage: Diagnosis of the building. Based on data collection results of these measurements are obtained and lifting loads supplemented by technical analysis utility billing history is made.*
- *Fourth stage: Identification of the most important energy improvements. Its importance is based on the energy savings will be obtained by applying the technical proposals submitted.*
- *Fifth stage: Economic viability of energy saving proposals analyzed. It is necessary to show that such proposals will effectively economic benefits and that your investment will be recovered within a reasonable time.*

*It should be emphasized that some electrical faults found, but considering the investment costs, the percentage of wasted energy and the impact it could have in the future in electrical installations, two potential sources of energy savings were identified as are the "harmonic filtering "and" increasing the power factor "*

**Keywords:** *Energy Audit, Power Factor Correction, Reduction Third Harmonic, Joule losses.*

## 1. Introducción

En términos generales podemos decir que una Auditoría Energética es un estudio técnico-económico del consumo energético de un edificio con el objetivo de obtener propuestas de mejora que contribuyan al uso adecuado y racional de la energía. Aquello repercute en un ahorro energético y disminución en la facturación del servicio de energía. Por el alcance que tenga la auditoría puede clasificarse en total o parcial, como lo es el presente trabajo.

La realización de la Auditoría en las instalaciones del edificio público tiene como objetivo buscar mejoras en eficiencia de la instalación eléctrica, encontrar posibles averías que repercuten en consumos innecesarios y concientizar sobre el desperdicio de energía que por lo general pasa desapercibido. Para su plena realización se analizaron las cargas del sistema eléctrico como luminarias, motores eléctricos, centros de cómputo y obviamente la distribución eléctrica del edificio.

El método de evaluación y diagnóstico estará en función principalmente de la comparación entre los valores estimados y medidos (reales) de los parámetros eléctricos más significativos con los respectivos análisis de potencia en los cuartos de transformadores. El mencionado diagnóstico será complementado con el historial de facturación que emite la empresa eléctrica, ello nos permitirá tener información adicional de mucha importancia como por ejemplo si existe penalización por bajo factor de potencia, la demanda máxima y la facturable, la curva de carga y el factor de corrección.

Con ayuda de instrumentos de medición, en especial el "Analizador de Redes Eléctricas DMIII Multitest", se midió por un lapso de tres días los parámetros eléctricos en cada una de los tres cuartos de transformadores que son: Trafos Torre Norte, Trafos Torre Sur y Trafos Terraza. Adicionalmente, se midieron parámetros eléctricos en los elevadores y bombas de agua, se separaron las cargas por áreas de consumo estableciendo consumos diarios y mensuales en unidades de Kwh. Los cálculos y gráficas estadísticas nos permitieron visualizar las áreas de mayor consumo.

Observando las mediciones realizadas con el analizador de redes en cada uno de los Trafos, se determinó la necesidad de utilizar banco de capacitores trifásicos en el lado de baja tensión para aumentar el factor de potencia (el mínimo factor de potencia permitido por el CONELEC es de 0,92), y anexar filtros armónicos para reducir las armónicas que

sobrepasen el máximo porcentaje de tolerancia según lo que disponen las normas técnicas.

En base a estas propuestas se realizó un estudio económico que permita conocer y equiparar los costos de implementación versus los ahorros de inversión y el tiempo de recuperación de dicha inversión.

## 2. Metodología o Solución Tecnológica Implementada

### 2.1 Descripción de las instalaciones y procesos.

Para un análisis más ordenado ha sido estructurado de la siguiente manera:

Sistema de alumbrado.

Consideraremos todas las luminarias (tubos fluorescentes, bombillos, reflectores) existentes en oficinas, salas de sesiones, pasillos, escaleras, balcones, terrazas, etc.

Sistema de refrigeración.

Posee un sistema de refrigeración combinado puesto que está estructurado por splits, Aires acondicionados de ventana, sistemas de Central e inclusive ventiladores de tumbado (considerado para nuestro estudio dentro de cargas varias).

Consumo por cargas varias.

Es de nuestro parecer considerar en este ítem todas las cargas que provienen de un tomacorriente (Exceptuando los aires acondicionados) ello encierra artículos de oficina, cafetería, baños y ventiladores de tumbado.

Consumo motores principales.

Existen dos elevadores uno en cada torre del edificio, cada uno forma un solo equipo Motor-Ventilador-Freno y la tecnología usada es la misma para ambos ascensores.

Toda la instalación se abastece de agua potable por medio de dos bombas que con ayuda de un tanque elevado permiten por acción de gravedad suministrar el fluido a los usuarios. Cabe aclarar que una de las bombas solo se enciende cuando la demanda de fluido es alta tal que la operatividad de una sola bomba resultaría ineficiente.

### 2.2 Identificación de los centros de costos.

Realizando una cuantificación por área de consumo de las mediciones eléctricas, se ha observado basado en porcentajes, cuáles son las áreas que representan un mayor consumo para el municipio.

En la Figura 1 se compara el consumo en Kwh de cada una de las áreas estudiadas (oficinas, refrigeración, elevadores, cuarto de bombas e iluminación del lugar), y el porcentual que ello representa.

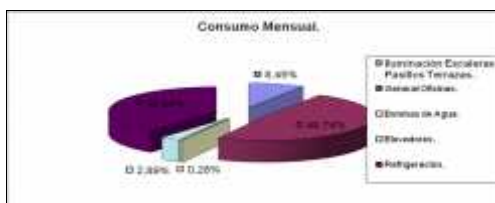


Figura 1: Consumo mensual del edificio

### 2.3 Programa de campaña de mediciones

Se ha cumplido con un procedimiento en la campaña de mediciones que fue el siguiente:

Medición de consumo de bombas de agua

Medimos el voltaje, corriente y potencia (usando el analizador de redes) de la bomba principal.

Medición de consumo de oficinas

Considerada como la principal área de consumo de energía en la que se procede de la siguiente manera:

- Conteo de punto de luz por piso y por sección clasificándolo a su vez por cantidad de consumo.
- Conteo de cargas varias de oficina por piso y por sección clasificándolas a su vez por tipo de carga.
- Medición de amperaje por fase y voltaje L-L y L-N en los paneles principales de cada piso.

Datos de placa de motores

Se tomaron todos los datos de placa legibles en los motores de elevadores, bombas de agua, en los compresores y ventiladores de los sistemas de refrigeración. Es necesario recalcar que ciertos datos de placa por no encontrarse legibles han sido completados usando los cuadros 430-148 y 430-150 del Código Eléctrico Nacional.

Medición del sistema de refrigeración

Usando el Multitest DMIII (Analizador de redes) se midieron parámetros eléctricos totales y por fase de Potencia, Factor de Potencia, Voltaje y Corriente.

Medición de los cuartos de transformadores

Durante todo el proceso de medición ubicamos el multitest DMIII en cada una de los tres cuartos de transformadores para que registre todos los parámetros eléctricos citados en el numeral anterior por espacio de tres días aproximadamente. El DMIII fue programado para medir el sistema cada 30 minutos. Cada cuarto de transformación tiene tres transformadores monofásicos de 100Kva conectados en "Delta-Estrella".

Medición de la sección elevadores

Las mediciones se realizaron en las horas de mayor consumo (de 10:00 a 12:00 am aproximadamente) utilizando el Multitest DMIII por un lapso de una hora por cada elevador considerando los voltajes, corrientes, factores de potencia, potencias, armónicos de corriente y voltaje, distorsión armónica total de corriente y voltaje.

### 3. Resultados

Luego de realizar un levantamiento de carga se puede obtener un mejor análisis del sistema eléctrico del edificio. La Tabla 1 resume el consumo total del alumbrado por áreas.

Tabla 1: Consumo Total Alumbrado por Áreas

Descripción	Consumo diario estimado (KWH)	Consumo mensual estimado (KWH)	Porcentaje de Consumo %
Oficinas	2.215,57	66.467,04	75,62%
Pasillos-Terrazas.	673,24	20.197,20	22,98%
Escaleras.	32,05	961,62	1,09%
Cuarto Transformadores	2,4	72,00	0,08%
Elevadores	5,376	161,28	0,18%
Cuarto de Bombas	1,12	33,60	0,04%
<b>Total</b>		<b>87.892,74</b>	<b>100,00%</b>

De la Tabla 1 es concluyente que el mayor consumo energético por alumbrado se encuentra en el sector Oficinas con un 75,62 %. Cabe aclarar que también se consideró analizar los desbalances de tensión y corriente.

Revisando las planillas de facturación eléctrica notamos que existe penalización por bajo factor de potencia, ello fue corroborado con los datos registrados por el analizador de redes eléctricas.

Con respecto a la penalización por bajo factor de potencia, CONELEC dice lo siguiente: “Para aquellos consumidores de la Categoría General, con medición de energía reactiva, que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92, el distribuidor aplicará los cargos establecidos en el Art.27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas: “Cargos por bajo factor de potencia”.

Los cálculos para el diseño del banco de capacitores será realizado asumiendo un factor de potencia deseado de 0,95 estando así por encima del mínimo que es 0,92 según la normativa técnica del CONELEC [1]. Es notorio que reduciendo armónicos y corrigiendo el factor de potencia no solo se mejora la calidad de la energía sino también se reduce el valor facturable por consumo energético.

Adicionalmente con el DMIII Multitest se registraron mediciones que indican la existencia de armónicos en el sistema eléctrico. La presencia de armónicos no solo da una mala calidad de energía al usuario sino que también influye en un bajo factor de potencia. La presencia de armónicos es nociva tanto para el usuario como para la red eléctrica. Armónicos en la red provocan el sobrecalentamiento de cables, deterioro de cargas sensibles (computadoras), pérdidas adicionales en transformadores y motores, etc; y ello implica innecesario gasto energético que se reflejará en las facturas de consumo energético.

Adicionalmente, es menester para un buen diagnóstico de las instalaciones eléctricas, analizar las mediciones de las distorsiones armónicas totales de corriente y voltaje, armónicos individuales obtenidas por el Multitest DMIII

En resumen, debe eliminarse el tercer armónico de Trafos Torre Norte y Sur, y corregirse el factor de potencia en el cuarto de transformadores de la Terraza.

Para corregir el factor de potencia se usarán bancos de capacitores cuyas especificaciones técnicas han sido calculadas.

**Tabla 2: Potencia Reactiva de los Bancos de Capacitores.**

Compensación	Cantidad	Unidad
--------------	----------	--------

Reactiva		
Mínima	7,734	(Kvar)
Máxima	72,380	(Kvar)
Promedio	17,102	(Kvar)
Promedio( Horario 07h00-17h30)	23,992	(Kvar)
Mediana	12,150	(Kvar)
Total de mediciones	276	Mediciones

Analizando los cálculos de compensación reactiva, resumidos en la Tabla 2, se concluye que se necesitará un banco de capacitores cuyos límites de compensación esté entre los siete y setenta y dos kvar aproximadamente.

Adicionalmente, como la compensación debe ajustarse conforme la necesidad de la carga, es necesario que los capacitores trifásicos sean de 6 kvar, estructurados a doce pasos, solucionando así los requerimientos mínimos y máximos de potencia reactiva, y logrando diversos niveles de ajustes que permitan mantener un factor de potencia superior al mínimo especificado anteriormente.

Para reducir la corriente del tercer armónico se usará un filtro de bloqueo que será instalado directamente en el neutro. El filtro FB3T de la marca Circutor adicionalmente reduce de manera significativa el quinto y séptimo armónico [2]

Es observable que debe ajustarse un banco de capacitores automático ya que hay considerables variaciones en los datos de potencia reactiva que debe tener el banco de capacitores.

El banco de capacitores básicamente debe constar de:

- 1 Controlador de factor de potencia a doce pasos.
- 12 Contactores especiales para banco de capacitores (bloque de contactos de paso con cierre y resistencia de amortiguación) de 32 amperios, trifásicos con bobinas a 220 voltios.
- 12 Capacitores trifásicos de 6 kvar a 15,1 amperios y 220 voltios.
- 1 Transformador de corriente para que el controlador pueda registrar las mediciones.
- 1 Interruptor termomagnético trifásico (principal) de 270 amperios, 220 voltios.
- 36 Fusibles de uso general (categoría gl) a 32 amperios.
- Cable thhn, 250 mcm awg
- Cable thhn, #10 awg
- 1 Gabinete

Al existir corrientes excesivas por bajo factor de potencia y armónicos, habrán mayores pérdidas por

“Efecto Joule”. Al calcular el efecto joule antes y después de las correcciones técnicas realizadas, es posible conocer el ahorro que ello implica. Aquello se resume en la Tabla 3.

**Tabla 3: Resumen de Análisis Económico por Efecto Joule.**

Descripción	Valor	Unidad
Corriente L-L sin compensación reactiva	373,046	Amperios
Corriente L-L compensando reactivas	66,316	Amperios
Resistencia (L=20 metros)	0,112	Ohmios
Pérdidas por Efecto Joule sin compensación de reactivas	66,316	Kilowatts
Pérdidas por Efecto Joule compensando reactivas	46,759	Kilowatts
Pérdidas de energía sin compensación de reactivas/mes	10610,620	Kilowatt-hora
Pérdidas de energía compensando reactivas/mes	7481,414	Kilowatt-hora
Ahorro de energía/mes	3129,206	Kilowatt-hora
Ahorro en dólares/mes	375,505	Dólares americanos

Para el cálculo de la resistencia se ha considerado un cable superflex 600 mcm para cada una de las tres líneas y una longitud de 20 metros. Adicionalmente cabe recalcar que el análisis ha considerado solo las horas de oficina (08h00-16h00) con una semana de cinco días laborables, donde obviamente las pérdidas de energía son mayores

#### 4. Conclusiones

Debe instalarse un filtro de bloqueo para reducción del tercer armónico. El tercer armónico puede causar incremento de corriente en el neutro entre otras anomalías, por ello es necesario considerar esta recomendación dada en la auditoría no solo por el ahorro energético sino para evitar futuros daños en las instalaciones eléctricas y equipos del edificio incluyendo daños mecánicos como en los motores por ejemplo.

El consumo excesivo de reactivas en los edificios es comúnmente originado por el uso de balastos en las luminarias fluorescentes, equipos de refrigeración y aires acondicionados, subutilización de la capacidad instalada de equipos electromecánicos entre otros. Al disminuir racionalmente el consumo de este tipo de cargas, disminuirá el consumo de reactivas que

generan penalizaciones económicas por bajo factor de potencia.

Corregir el factor de potencia no solo evitará la sanción económica sino que también evitará un incremento mayor de temperatura en los conductores y bobinados de los transformadores, ello repercute en disminución de la vida útil de los cables y equipos afectados. Adicionalmente también se puede concluir que existirá un menor consumo energético al evitar estas pérdidas de energía.

Las pérdidas de energía sea por efectos de armónicos o por un bajo factor de potencia, repercute en un sobrecalentamiento en los conductores, es decir mayores pérdidas por “Efecto Joule”. Estas pérdidas también se reflejarán obviamente como pérdidas económicas.

#### 5. Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a Dios que me ha permitido mantener la buena salud, la paz, el tiempo necesario y una familia comprensiva que me ha respaldado en todo momento.

Agradezco a mi familia en especial a mi madre que día a día es un ejemplo de vida a seguir y a mi padre quien aun después de fallecer sigue aconsejándome en mis sueños y recuerdos.

#### 6. Referencias

- [1]CONELEC, Pliego Tarifario para empresas Eléctricas, aprobado el 01 de enero del 2012.
- [2]CIRCUTOR, Soluciones de Filtrado, [http://circutor.com/docs/Soluciones%20Filtrado\\_SP\\_Cat.pdf](http://circutor.com/docs/Soluciones%20Filtrado_SP_Cat.pdf), fecha de consulta enero 2015.
- [3]López Paiz Gerardo, Corrección del Factor de Potencia y Diseño e Instalación Óptima de Banco de Capacitores bajo el efecto de Distorsión Armónica en la Industria de Producción de Cloro, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011.