



FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MAESTRIA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA.

***MEJORA DE LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA  
DEL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL  
PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.***

**Tesis presentada en opción al título académico de  
Master en Eficiencia Energética.**

**Autora:** Ing. Odalys Cruz Bermúdez

**Tutor:** DrC. Ing. Roberto Torres Rodríguez

**HOLGUÍN 2011**

## **AGRADECIMIENTOS:**

En las profundidades de las tesis, y muchas veces hasta sumergidos en el anonimato, habitan nombres sin los cuales investigaciones como esta fueran sólo un grupo de nobles ideas. Entre esos inevitables nombres no podría dejar de mencionar a Leandro, el Ingeniero de CEDAI que tanto me ayudó con la tecnología para el trabajo de campo y su invaluable experiencia; a mi familia, que jamás escatimó en tenderme la mano con los más insospechados pedidos; a mis compañeros y a mi tutor, por mostrarme el camino apropiado.

A todos ellos, mil gracias.

## **DEDICATORIA:**

A mi hijo a quien tantas horas pedí prestadas, y a todas aquellas personas que vean en el argumento de este trabajo investigativo una herramienta de trabajo en su quehacer diario.



***"Si se fuera a buscar un respiro para la humanidad y darles una oportunidad a la ciencia y a la dudosa cordura de los que toman decisiones, esa realidad nos encaminaría irremediablemente al uso racional y eficiente de la energía"***  
***Fidel Castro***  
***22 de mayo del 2007***

## **RESUMEN**

El presente trabajo aborda una evaluación de alternativa para lograr el incremento de la Eficiencia electroenergética en el Hospital Pediátrico de Holguín, mediante la determinación de los valores óptimos del Factor de potencia en el circuito de la ampliación a partir de un diagnóstico energético que permita lograr una caracterización de este circuito con un análisis preliminar del consumo de energía en diferentes condiciones de trabajo, localizando posibles pérdidas y causas de despilfarro de energía en equipos y procesos; así como Identificar las principales reservas de Eficiencia electroenergética y reforzar las medidas de ahorro, de forma tal, que en alguna medida se compensen los gastos que de su utilización se derivan.

## **SUMMARY**

This following paper deals with an alternative assessment to achieve increased efficiency of the power system at the Children's Hospital of Holguin, by determining the optimal values of power factor in the expansion circuit, departing from an energetic diagnosis as to achieve a characterization of this circuit with a preliminary analysis of energy consumption in different working conditions; locating potential losses and causes of energy waste in equipments and processes as well as to identify key areas of power system efficiency and enhance cost-saving measures, so as to extent to offset the costs arising from their use.

## ÍNDICE

	Pág
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....</b>	<b>10</b>
1.1 Situación energética mundial.....	10
1.2 Situación energética en Cuba	11
1.3 Sostenibilidad en la producción de energía.....	12
1.4 Eficiencia energética.....	15
1.5 Algunos potenciales de ahorro de la energía eléctrica.....	17
1.5.1. Control de la demanda máxima.....	17
1.5.2. Control del consumo de energía.....	20
1.6 Precio del combustible (Factor $K$ ).....	22
1.7 Factor de potencia (Fp).....	23
1.7.1 Significado técnico -económico del factor de potencia.....	25
1.7.2 ¿Cómo determinar el factor de potencia de una instalación? .....	25
1.7.3 Causas del bajo factor de potencia.....	26
1.7.4 ¿Por qué resulta dañino y caro mantener un bajo factor de Potencia?	28
1.7.5 ¿Cómo mejorar el Factor de Potencia.....	29
1.7.6 Consideraciones para la localización de los capacitores.....	33
<b>Conclusiones del capítulo.....</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO 2: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA EN EL CIRCUITO DE AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.</b>	<b>38</b>
2.1 Contexto histórico social del objeto de estudio.....	38
2.2 Materiales y Métodos empleados en la investigación.....	40
2.3 Procedimiento Metodológico a utilizar en el proceso de investigación en el Hospital Pediátrico de Holguín.....	41

2.4 Resultados del diagnóstico.....	Pág 47
2.4.1 Descripción del Sistema.....	47
2.4.2 Levantamiento eléctrico.....	48
2.4.3 Comportamiento diario de la carga.....	51
2.4.4 Estado técnico de las instalaciones eléctricas.....	54
2.4.5 Calidad de la energía. ....	57
2.4.6 Solución propuesta. Corrección del factor de potencia central.....	58
2.4.7 Valoración económica.....	63
2.4.8 Ahorro Energético.....	63
<b>CONCLUSIONES.....</b>	65
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	66
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	67
<b>ANEXOS</b>	

## INTRODUCCIÓN

La energía es la capacidad que portan los subsistemas de la naturaleza, que es la base del desarrollo y el crecimiento de los seres vivos y la sociedad. La energía posibilita y facilita toda la actividad humana. Ella por si sola no significa nada si no es acompañada por su valor de uso: luz, frío, calor, fuerza y movimiento, transporte y comunicación. Es en el uso final donde se concreta el beneficio de la energía<sup>1</sup>.

Las diferentes fuentes; sistemas de producción y uso de la energía utilizada por el hombre, han marcado las grandes etapas en el desarrollo de la sociedad humana dependiendo el curso de éste, de las elecciones energéticas realizadas en cada momento. En el decursar del tiempo el hombre pasó del empleo de su fuerza muscular al uso de diversas fuentes para satisfacer sus necesidades: el empleo del fuego, la utilización de la tracción animal, y finalmente, en rápida sucesión, el dominio de las tecnologías del carbón, del petróleo y el gas natural, al igual que la producción y uso del vapor y la electricidad, de acuerdo a esto fue aumentando el consumo diario de energía según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla No1. Uso diario de la energía a través de las diferentes etapas en el desarrollo de la sociedad humana.

<b>Etapas</b>	<b>Consumo Diario de Energía 10<sup>3</sup> Kcal</b>
Hombre primitivo	2
Cazador	6
Agricultor primitivo	10
Agricultor Avanzado	40
Hombre Industrial	80
Hombre Tecnológico	220

Fuente: Colectivo de autores CEEMA, Nordelo Borroto Aníbal E y otros. Ministerio de educación superior. Red de Eficiencia energética 2007.

Desde esta perspectiva, la historia de la humanidad no ha sido más que la historia del control de esta sobre las fuentes y tecnologías energéticas, llegando al esquema energético global actual, el que descansa en la utilización de los combustibles fósiles; combustibles que no son renovables, que son contaminantes en alto grado, que están

---

1- [http://www.rhe.cu/espacio/comentarios/junio2007/comentario6\\_junio.htm-10k](http://www.rhe.cu/espacio/comentarios/junio2007/comentario6_junio.htm-10k) (consultado mayo/2008).

concentrados en pocas regiones de la tierra en manos de grandes consorcios transnacionales y utilizados de forma muy ineficiente.

El desarrollo sostenible de la sociedad está dentro del conjunto de cambios paradigmáticos a nivel de sociedad, que lenta; pero sostenidamente van perfilándose como un cambio alternativo, factible y necesario. Según expertos el ritmo de consumo de los combustibles fósiles es extremadamente mayor que su ritmo de producción, lo cual amenaza con el agotamiento de los mismo en los próximos 40 años, por tal motivo, debemos estar preparados para este hecho y tomar las medidas oportunamente para alargar su existencia mientras que se definan, perfeccionar e implantar nuevas tendencias. [De Armas, 2003]

El previsible agotamiento de los combustibles fósiles y el daño irreversible que ocasionan al medio ambiente, exige la adopción de nuevas estrategias en materia de energía, como base de un modelo de desarrollo sostenible, que permita satisfacer las necesidades de la generación actual y preservar las posibilidades para que el hombre del futuro pueda también encontrar soluciones para satisfacer las suyas. Hasta hoy el 90% de las necesidades energéticas del planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados en forma ineficiente, por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico<sup>2</sup>.

Antes de la aparición de la energía eléctrica, al inicio de la Revolución Industrial, el hombre ya había comenzado a multiplicar sus fuerzas por el uso de diferentes fuentes de energía, que empleó inicialmente en la producción y aprovechamiento del vapor con fines industriales y de transporte, lo cual constituyó el despertar para lo que sería el uso a gran escala de la energía, pero no fue hasta que se generalizaron las redes e instalaciones eléctricas, con sus múltiples aplicaciones industriales y domésticas, que se vio el gran impacto de esta nueva forma de energía. [Viego, 2006]

La electricidad ha contribuido al desarrollo y al avance tecnológico en la actualidad, a causa de lo difícil que resulta su conversión a otras formas de energía, y a la posibilidad que brinda de un sencillo control, así como de una transportación, relativamente económica, a grandes distancias. [De Armas, 2004]

---

<sup>2</sup> Colectivo de autores CEEMA Redacción General: Nordelo Borroto Aníbal E Dr; Yanes Monteagudo; José P Dr. Universidad de Cienfuegos, Gestión y Economía energética. Ministerio de educación superior. Red de Eficiencia energética 2007

Los planes de desarrollo de la economía del país prevén el incremento sostenido de la producción de energía eléctrica, lo que permitirá el equipamiento de diferentes ramas de la industria y los servicios con la técnica mas avanzada, basada en la utilización de la electricidad. Cuba no está exenta de la actual realidad del agotamiento previsible del petróleo, situación esta que ha obligado a considerar el ahorro de energía; la tarea fundamental de estos momentos y todo lo que contribuya a este fin, directa e indirectamente es de suma importancia, razón por la cual se debe profundizar en el análisis de las causas que afectan la Eficiencia energética, para eliminarlas y a su vez buscar nuevas formas y métodos que conduzcan a una disminución del consumo de energía eléctrica. [Padrón, 2000]

Los procesos de producción y uso de la energía constituyen la causa fundamental del deterioro ambiental. Sus impactos se producen en todas sus fases desde la extracción de combustibles o la construcción de un embalse, hasta el uso final de la energía pasando por los procesos de conversión, almacenamiento y distribución de los portadores energéticos. La demanda mundial de energía tiene actualmente la tendencia a aumentar, pronosticándose que dentro de veinte años habrá crecido cerca de dos tercios por encima de la demanda existente y aunque para los próximos 50-100 años no parece existir límites en su consumo, para el logro de un desarrollo sostenido a escala mundial se hace indispensable la búsqueda de nuevas fuentes de energía y una mayor eficiencia en su producción y distribución, de lo contrario se acelerarán los daños en el medio ambiente, aumentará la desigualdad y no sólo el desarrollo económico mundial estará en peligro, sino también la especie humana y el planeta<sup>3</sup>.

El desacoplamiento entre el crecimiento económico y la demanda energética, producido en gran medida por la introducción de política de Eficiencia energética motivada por la escasez de recursos y el cuidado del medio ambiente, ha generado la idea intuitiva de que existe un vinculo entre el crecimiento económico sensible de una nación y la aplicación de políticas de Eficiencia energética.

Dicho de otro modo, según Borroto y otros autores (2007) el uso eficiente de la energía, constituye uno de los factores que encaminan las naciones hacia el desarrollo económico y el desarrollo sostenible.

---

<sup>3</sup> Viego, Percy DrC; Teyra de Armas, Marcos DrC; Abril Pérez, Ignacio DrC; Padrón Padrón , Arturo DrC, Fernández Casas, Leonardo DrC. Centro de estudios de energía y medioambiente. CEEMA, Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez “Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales, 2007

En el año 2006 la máxima dirección del país aprueba los lineamientos y declara el país en condiciones de llevar a cabo una Revolución Energética como un desafío para el desarrollo, con una concepción amplia y abarcadora del fenómeno, dentro de la sinergia de los procesos que se generan y afectan al planeta en su totalidad.

En tal sentido una Revolución energética se puede asumir como el cambio vertiginoso en el propósito de generación o utilización racional de la energía que el hombre necesita para cocinar, alumbrarse, calentarse, acondicionar la temperatura de locales, mover máquinas y maquinarias, hacer avanzar la economía, etc. Conceptualmente podría abarcar: la producción, la transmisión de la corriente eléctrica desde los centros de generación hasta la vivienda, la industria, los viales, entre otros, el cambio de medios y equipos obsoletos por otros más ahorradores, etc., así como la educación necesaria para asumir estilos y normas de vida más ajustada al uso racional de la energía. [Borroto, 2007]

En los tiempos actuales resulta más urgente la aplicación a nivel de empresas de medidas que conduzcan al ahorro de energía. La reducción de la demanda del consumo y de los costos asociados, está en correspondencia con las inversiones capitales en los sistemas eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicios. [Viego, 2007]

Varias son las medidas adoptadas para el ahorro de energía en sistemas eléctricos de empresas industriales y de servicios. El control de la demanda máxima y del consumo de energía eléctrica, consiste en la administración y el control de las cargas eléctricas para reducir la demanda máxima de potencia y el consumo de energía, con el objetivo de reducir los costos (de acuerdo con la tarifa eléctrica que se aplica) y para satisfacer otros requerimientos de los sistemas eléctricos. Según lo planteado por Viego y otros autores (2002), con este objetivo, se emplean métodos que van desde el desplazamiento en el tiempo de determinadas operaciones fabriles y el control manual o por simples interruptores de reloj de demanda máxima (que implican una inversión pequeña o aun trivial) hasta equipos altamente sofisticados, totalmente automatizados, que significan una importante inversión pues al disminuir esa demanda se logra reducir el consumo de portadores energéticos; se obtiene una menor carga en horas en que la tarifa eléctrica implica un costo mayor del kWh.; al tiempo que se reducen las pérdidas de potencia, y la disminución de los gastos por ese concepto cuando la tarifa incluye el pago por demanda máxima.

El dilema energético derivado de un consumo cada vez mayor y un aumento significativo de los costos de ésta hacen necesario que las industrias, edificios e instalaciones en

general intenten ser cada vez más eficientes, disminuyendo así sus necesidades energéticas y, por ende, sus costos operativos. [Viego, 1999]

En esta coyuntura, el sector hospitalario, con grandes demandas de energía debido a su constante necesidad de disponibilidad de suministro (24 horas los 7 días de la semana), de equipamiento médico, de requisitos especiales en la calidad de aire interior y del control de enfermedades, es uno de los grandes afectados por este dilema. [Ruiz, 2009]

Los hospitales deben gestionar el consumo de energía teniendo en cuenta las características específicas de los servicios que se prestan en el mismo, para alcanzar el óptimo cuidado, confort y seguridad de los pacientes, visitantes y personal, de una manera lo más eficiente posible. [Burgos 2009]

En consecuencia, los gestores de la instalación deben adoptar medidas para que su costo energético cumpla tanto con los objetivos marcados por los organismos reguladores como con la sostenibilidad de la institución, estas deben de estar relacionada con dos aspectos fundamentales:

- **La seguridad en el sistema de suministro eléctrico.** Es necesario garantizar la continuidad del suministro eléctrico en cualquier momento del día, especialmente en las áreas críticas (quirófanos, unidades de cuidados intensivos, etc.). Cualquier corte en el suministro puede causar la interrupción de los tratamientos, el incumplimiento de las listas de espera, algunas mermas en la calidad asistencial y el deterioro de la imagen del centro.
- **La confiabilidad en equipos de alta tecnología médica.** Estos dispositivos son muy sensibles a todo tipo de perturbaciones en la red. La distorsión de la tensión y los microcortes afectan seriamente a los sistemas eléctricos actuales, causando pérdidas de información en los centros de datos e interrupciones en los tratamientos.

### **Particularidades de la demanda energética en hospitales.**

En el artículo de Vicente Burgos García, “Eficiencia energética en hospitales” (2009), se plantea que comparados con otro tipo de edificios, las instalaciones hospitalarias poseen unas demandas energéticas particulares. El óptimo control de esta necesidad puede contribuir de forma significativa a la reducción de sus costos operativos.

Dentro de estas demandas específicas de los hospitales, cabe destacar favorablemente algunas de ellas:

El uso de la climatización central en unidades cerradas de cuidados especiales, la cual reporta un alto consumo energético que es necesario tener en cuenta.

El empleo de filtros de aire de alta eficiencia en sistemas de ventilación evita la propagación de infecciones a través de este sistema. Con la utilización de estos filtros, se alcanzan niveles de eficiencia por encima del 90%, esto significa una gran demanda eléctrica de los ventiladores para poder proporcionar una correcta circulación de aire. <sup>4</sup>

De igual manera el mantenimiento de un riguroso nivel de calidad del aire interior en salas, requiere de una mayor renovación del clima (quirófanos, salas de equipos de rayos x y TAC (Tomografía axial computarizada), unidades de cuidados intensivos y laboratorios); al igual que la necesidad de disponer de aire interior en niveles de temperatura, humedad y calidad adecuados, lo cual aumenta la necesidad de poseer una climatización y una ventilación acorde con este objetivo, cumpliendo con las normas de higiene y epidemiología. También deben valorarse las puntas de consumo de los servicios de lavandería y Cocina (entre un 10-15 % del total).

La utilización de sistemas redundantes en caso de fallo de la fuente de alimentación o de cualquiera de los dispositivos aumenta la disponibilidad del suministro de energía, así como la seguridad es asegurada con la elección de protecciones por el criterio de selectividad en el disparo frente a cortocircuitos. La implantación del sistema IT en áreas reducidas que permitan la continuidad del suministro para alimentar servicios de seguridad.

El uso de sistemas UPS que protegen los equipos médicos e informáticos, el alto grado de fiabilidad garantizado por la alimentación dual de los cuadros que alimentan las cargas críticas, alta calidad de la aparentemente instalada, planes de mantenimiento, y optimización de la inversión en equipos y dispositivos frente arquitecturas convencionales contribuyen en la calidad, fiabilidad y rentabilidad de los sistemas eléctricos de los hospitales.

Antes de reducir el consumo energético, se debe determinar dónde y cómo se está consumiendo. Con esta información es posible determinar donde hay mayores opciones de ahorro y actuar en consecuencia.

---

<sup>4</sup> Norma cubana obligatoria, NC IEC60364-4-710; 2005. Requisitos para instalaciones especiales o locales-locales médicos

En el caso del Hospital Pediátrico de Holguín con 38 años de explotación, comienza a funcionar en 1971 y en 1986 se construye un edificio adjunto a esta institución que aumenta de forma significativa los servicios prestados. Actualmente cuenta con 469 camas, 10 salas quirúrgicas, servicios de imaginología con técnicas de avanzadas como la Tomografía Axial Computarizada y equipo de fluoroscopia, salas de cuidados intensivos y neonatales, laboratorios clínicos y de microbiología, una unidad para estudios de genética con tecnología de última generación, además de servicios de urgencia y consultas externas, con equipamiento oftalmológico avanzado.

Al hacer una valoración de la situación electroenergética y de la seguridad de explotación del sistema eléctrico del Hospital Pediátrico “Octavio de la Concepción y de la Pedraja” teniendo en cuenta la relación y distribución de los consumidores eléctricos, los análisis con los registros de operación, los estudios contratados por empresas capacitadas, así como la estadística de los pagos por concepto de pérdidas por transformación y penalización por bajo Factor de potencia, se detectaron disímiles deficiencias que atentan contra la efectividad del sistema, y que fundamentan la situación problemática de la investigación, destacándose entre ellas:

- registros de valores bajos de Factor de potencia entre 0,86 y 0,90 en correspondencia con altos pagos por penalizaciones.
- Gran cantidad de energía reactiva circulante dentro del sistema.

Haciéndose preciso la necesidad de explotar de forma segura y continua el sistema eléctrico de la entidad, a partir de ella se identificó el siguiente **problema de investigación**: Baja Eficiencia electroenergética en el circuito de ampliación de Hospital Pediátrico Provincial de Holguín

**Objeto de la investigación**: La eficiencia electroenergética en el Hospital Pediátrico Provincial de Holguín y como **campo de acción**: Sistema eléctrico del circuito de la ampliación del Hospital Pediátrico de Holguín.

Para guiar el proceso de investigación se propone la **Hipótesis** siguiente: Al identificar los factores que deterioran la Eficiencia electroenergética en el circuito de ampliación mediante el análisis de las condiciones de explotación, permitirá proponer soluciones para que se incremente la misma.

Para lo cual se tiene en cuenta el siguiente **objetivo de la investigación**:

Proponer soluciones a partir de la identificación de los aspectos que deterioran la Eficiencia electroenergética mediante el empleo de la herramienta Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) en el circuito de ampliación.

Los objetivos propuestos serán cumplidos mediante las siguientes **Tareas** en las diferentes etapas de la investigación:

- estudio bibliográfico del tema de investigación
- caracterización de la unidad objeto de estudio y diagnóstico de la situación electroenergética en el circuito de ampliación.
- propuesta de soluciones
- elaborar informe final

Para el desarrollo de estas tareas se propone como **método**:

**Método empírico:**

En el nivel **experimental**: encuestas, entrevistas, estadísticos, consulta a expertos y la observación directa e indirecta

En el nivel **teórico**: histórico-Lógico, inducción y deducción, análisis y síntesis.

**Actualidad científica**: proponer, un proceso integral que evalúa y plantea soluciones relacionadas con la Eficiencia energética en el Hospital Pediátrico de Holguín, que incluye el análisis desde el punto de vista energético, económico y social.

**El aporte práctico** radica en la factibilidad demostrada de poder implementar mejoras energéticas con resultados satisfactorios y de perspectivas alentadoras para su continuidad, quedando elaborado un procedimiento con aplicación en todas las unidades de salud de este tipo y otras entidades. Manual de usuario con las herramientas.

**El aporte social** consiste en la identificación de las principales dificultades que afectan el uso y consumo de electricidad en el Hospital Pediátrico de Holguín. Se fomenta una cultura en el ahorro de electricidad.

Entre los **beneficios esperados** con la aplicación de la gestión energética se encuentran:

**Social**: aumenta la calidad de atención al paciente al contar con un sistema eléctrico confiable en los diferentes servicios, con la aplicación de tecnologías modernas en la gestión energética, se eleva la cultura sobre el consumo racional de la energía eléctrica en trabajadores y pacientes, logrando un compromiso social con el recurso.

**Económicos**: se logra una eficacia económica dada por la reducción de los costos en el tratamiento de la calidad de la energía eléctrica y disminuyen los pagos por concepto de penalización.

**Energético**: se logra elevar la Eficiencia energética al disminuir la circulación de energía reactiva dentro del sistema, consumiendo toda la energía proveniente de la red con la mayor calidad posible.

La investigación cuenta con dos fases fundamentales: en el Capítulo 1, se realiza una fundamentación teórica del tema objeto de estudio, en el Capítulo 2, se hace un análisis técnico económico para mejorar la Eficiencia electroenergética en el circuito.



# ***CAPÍTULO 1***

## ***CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA***

MEJORA DE LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA DEL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.

## **CAPÍTULO 1. CONSIDERACIONES TEÓRICAS SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

En lo referente al presente trabajo, el análisis bibliográfico cumple con el objetivo de estudiar y valorar los criterios de diferentes autores en relación al tema de cómo mejorar la Eficiencia energética en los sistemas eléctricos y obtener una mejor calidad en la energía eléctrica utilizada.

### **1.1 Situación energética mundial**

Históricamente se vincula el crecimiento económico a un mayor uso de recursos energéticos, sin embargo esto ha ido variando en las últimas décadas. En los países desarrollados se evidencia una marcada acción para elevar la Eficiencia energética a partir del alza de los precios provocada por la primera crisis del petróleo de inicio de los años 70, acción que se refuerza con el nuevo incremento de precios que se produjo a inicios de los 80.

En los países desarrollados se pusieron en práctica políticas de ahorro en varios sentidos simultáneamente. Estas acciones pasaron a formar parte de la política energética de estos países, logrando desacoplar los ritmos de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), del consumo de energía. Entre los elementos fundamentales de estas políticas están: el incremento máximo de la eficiencia en el uso de todas las formas de energía, la búsqueda de fuentes alternativas del petróleo, el desarrollo tecnológico y equipos de uso final de una alta eficiencia y el desplazamiento hacia industrias menos energointensivas, como consecuencia del propio proceso de desarrollo y maduración de la industria. [De Armas, 2003]

Según Borroto y otros autores (2007) en su libro “Gestión y economía energética”(2007), en el periodo de 1980-2002 los países desarrollados lograron una reducción del 24% en su intensidad energética, mientras que en ese mismo periodo, por el contrario, los países de América Latina y El Caribe incrementaron la intensidad energética en un 2%.

La presión sobre el uso de los recursos, en especial los energéticos y los hídricos, obliga a utilizar la energía cada vez de manera más racional y eficiente. La última tendencia al encarecimiento de la energía y al agotamiento de los recursos hídricos, está presionando social y económicamente a la sociedad. Los más afectados son los países con menos recursos, pues la presión no es proporcional al desarrollo económico.

En los países subdesarrollados se presenta un círculo vicioso entre subdesarrollo y deterioro ambiental, pero no son, por supuesto estos los que ocasionan los mayores

impactos ambientales. Son los países desarrollados los que cargan sobre sus hombros una gran deuda ecológica, ya que con un 16% de la población mundial consumen el 52% de la energía, producen el 45% de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, generan el 60% de los desechos industriales y el 90% de los desechos peligrosos altamente contaminantes. A esta deuda se suma el cargo por la transferencia de tecnologías contaminantes y hasta el envío de desechos tóxicos a los países subdesarrollados. [Viego, 2002]

Con mucha frecuencia, el incremento del consumo de energía ha sido tratado como parte integrante e inevitable del crecimiento económico. Se manejan los índices de consumo per cápita de energía como indicadores básicos de nivel de vida, sin tomar en consideración lo irracional e ineficiente del modo en que ésta se utilice.

## **1.2 Situación energética en Cuba**

En el periodo 1980-1989 en Cuba existía un adecuado balance oferta-demanda de portadores energéticos, creciendo el consumo de energía debido al desarrollo del país a una tasa promedio anual del 4%.

En el periodo 1990-1993, según consideraciones de Borroto y otros autores (2007), con el derrumbe del campo socialista, el incremento del bloqueo y la crisis económica que comenzó a sufrir el país, la disponibilidad de generación eléctrica decreció desde el 78% hasta el 53% y la de combustible, en prácticamente 2 años, se redujo a menos del 50%. El consumo promedio de energía eléctrica en este período en el país decreció en más de un 6% anual.

La entrada del país en el periodo especial influyó de manera significativa en la reducción de la Eficiencia energética por diferentes causas, algunas de ellas fueron:

- Disminución de la disciplina tecnológica
- Reducción de la gestión energética ambiental
- Afectación sensible de índices y normas
- Reducción de la disponibilidad de recursos financieros
- Reducción del nivel de producción
- Reducción de inversiones en ahorro de energía

A partir de 1994 comienza la recuperación de la economía cubana con la necesidad de perfeccionar todo el sistema de gestión energética empresarial.

El programa de desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía, aprobado por la asamblea nacional del Poder Popular en 1993, considera que entre un 5 y 10% del ahorro del consumo de portadores del país puede lograrse mediante el incremento de la Eficiencia energética, fundamentalmente a través de medidas técnico-organizativas, con inversiones que se recuperarán en menos de 1,5 años. Se estima que el 85% de este ahorro podría obtenerse en el sector industrial, residencial y de los servicios.<sup>5</sup>

El año 2006, ha sido denominado “Año de la Revolución Energética en Cuba” y presupone, como lo ha explicado en reiteradas ocasiones el compañero Fidel Castro, la puesta en práctica de nuevas concesiones para el desarrollo de un sistema electroenergético nacional más eficiente y seguro, y un uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad cubana, haciendo el ahorro de energía el sustento fundamental del desarrollo del país.<sup>6</sup>

### **1.3 Sostenibilidad en la producción de energía**

Aunque es incuestionable el potencial de la energía para alcanzar el desarrollo económico y social, también lo es la repercusión que tiene en la degradación del medio ambiente, ya que la combustión de reservas fósiles es la mayor fuente antropogénica de gases tóxicos que atentan contra la salud humana, en específico, y en general contra la salud de los ecosistemas, de modo que para lograr la sostenibilidad energética se deben satisfacer las necesidades de energía actuales, sin poner en riesgo la satisfacción futura de dichas necesidades.

La producción y consumo de energía tiene una fuerte influencia en el logro del desarrollo sostenible. Muchos han sido los razonamientos llevados a cabo sobre los sistemas de producción de energía y su uso racional, el Centro de Estudio y Medioambiente (CEEMA) de la universidad de Cienfuegos tiene un papel significativo en la realización de estos estudios. El Dr Aníbal Borroto Nordelo y el Dr. Jose P. Monteagudo Yanes, de esta universidad, hacen énfasis dentro de sus valiosos argumentos sobre este tema, en que la energía puede ser un instrumento valioso en su materialización, pero también puede

---

<sup>5</sup> Colectivo de autores CEEMA Redacción General: Nordelo Borroto Aníbal E Dr; Yanes Monteagudo; José P Dr. Universidad de Cienfuegos, Gestión y Economía energética. Ministerio de educación superior. Red de Eficiencia energética 2007

<sup>6</sup> La Revolución Energética y la Energía Eléctrica. “Suplemento especial”. Editorial DOR. 2006

transformarse en un obstáculo tan grande que eche por tierra la mayor aspiración de los hombres: alcanzar una vida plena, equitativa y digna.

El diseño de cualquier estrategia de desarrollo sostenido no puede excluir la búsqueda y desarrollo de un servicio energético sostenible, o sea, una energía sostenible como resultado de una producción y consumo que fomente el bienestar humano equitativo y el equilibrio ecológico a largo plazo.

El desarrollo de un sistema energético sostenible no puede ser un propósito exclusivamente del Estado; en él deben participar todos los actores que de una manera u otra están implicados y que deben cambiar sus patrones de producción y consumo, como los gobiernos, las empresas y cada uno de los miembros de la sociedad civil. Estos actores deben alcanzar un consenso en las acciones que se deben ejecutar para materializar el objetivo trazado. [Pérez, 2008]

Un modelo que posibilite mejorar la calidad de vida con mas y mejores servicios energéticos, que distribuya mas equitativamente los beneficios del progreso económico, pero de una forma racional que permita respetar y cuidar las comunidades de los seres vivos, no sobrepasar los límites de la capacidad del planeta para suplir fuentes energéticas y asimilar los residuos de su producción y uso; un modelo que posibilite en definitiva, integrar el desarrollo y la conservación del medio ambiente. [De Armas, 2002]

Muchos autores coinciden que para conformar una política energética acorde al desarrollo sostenible se señalan tres direcciones:

**Elevación de la Eficiencia energética**, fomentando una cultura de uso racional de la energía, eliminando esquemas de consumo irracionales, implementando sistema de gestión energética efectivos, utilizando equipos de alta eficiencia, reduciendo la intensidad energética en los procesos industriales y de servicios, aprovechando las fuentes secundarias de bajo potencial, utilizando sistemas de cogeneración y trigeneración, y empleando, en general la energía de acuerdo a su calidad.

**Sustitución de fuentes de energía**, por otras de menor impacto ambiental, en particular por fuentes renovables, tales como energía solar, energía eólica, energía geotérmica, hidroenergía, biomasa, energía de los océanos, etc.

**Empleo de tecnologías para atenuar los impactos ambientales**, o tecnologías limpias, como son los sistemas depuradores de gases de combustión o las tecnologías de gasificación del carbón en ciclos combinados con turbinas de gas.

El Dr. Aníbal Borroto Nordelo expone de forma argumental en sus consideraciones sobre la Gestión y la Economía Energética, que evidentemente en la actualidad se están

produciendo cambios dramáticos en nuestro entorno, por lo que el hombre, como único responsable, debe plantearse como tarea fundamental lograr la reversibilidad de cambios producidos por las tecnologías energéticas, o al menos la atenuación a su mínima expresión de los impactos ambientales que ellas ocasionan, de modo que para lograr la sostenibilidad energética se deben satisfacer las necesidades de energía actuales, sin poner en riesgo la satisfacción futura de dichas necesidades.

Un elemento importante para promover la sostenibilidad del servicio energético es su eficiencia. En la actualidad, a nivel mundial, la eficiencia para transformar la energía primaria en útil es aproximadamente un tercio de la energía primaria procesada, magnitud que no garantiza las actuales demandas del desarrollo sostenible.

En el Informe Mundial de Energía y el Reto de la Sostenibilidad se plantea que «...para una implantación con éxito de las mejoras de Eficiencia energética son esenciales normas legales, consumidores, proyectistas y responsables de la toma de decisiones bien informados, operarios motivados y un sistema de pagos adecuado»; estos factores influyentes pueden garantizarse desde la política.

El desarrollo de un sistema energético sostenido exige una perspectiva a largo plazo y amplia participación en la formulación y ejecución de políticas públicas dirigidas a modificar pautas insostenibles de producción y consumo, para lo cual se requieren cambios en el entramado cultural de productores y consumidores, es decir, requiere de la creación de una cultura energética sostenible. Sólo así podrá contribuir al objetivo mayor, el desarrollo sostenible y la creación de una sociedad más humana.

La formación de nuevos valores hace cambiar las actitudes en la búsqueda de un equilibrio entre la satisfacción de las necesidades, la búsqueda de una producción limpia y el cuidado del medio ambiente, lo que implica el desarrollo sostenible en la problemática energética<sup>7</sup>.

Varias son las acciones a escala mundial enmarcadas en las políticas gubernamentales y en las líneas de trabajo de muchas organizaciones no gubernamentales, que tienen como objetivo estimular las direcciones planteadas para lograr un desarrollo energético sostenible, entre ellas se pueden mencionar: una promoción fuerte de la educación energética ambiental, legislaciones que estimulan el uso de fuentes renovables y menos contaminantes, impuestos sobre emisiones, etc. Especial lugar dentro de estas acciones

---

2- <sup>7</sup> Pérez Gómez, Marta M; [www.cubasolar.cu/biblioteca/energía\\_27/HTML/art.0,7.htm.2007](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energía_27/HTML/art.0,7.htm.2007). (consultado enero 2008).

ocupan las derivadas del Protocolo de Kyoto, según el cual los países industrializados deben comprometerse a reducir sus emisiones de gases de invernadero en un 5,4% como promedio con relación a los niveles de 1990. Este busca la cooperación internacional para el cumplimiento de los compromisos de reducción de las emisiones mediante el Comercio de Emisiones, la Implementación Conjunta y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. [Borroto, 2007]

#### **1.4 Eficiencia energética**

La Eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía necesaria para garantizar la calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. Esta implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto.

Para lograr la Eficiencia energética de forma sistemática en una empresa es necesaria la aplicación apropiada de un conjunto de conocimientos y métodos que garanticen esta práctica. Ellos son aplicados a los medios de trabajo, los recursos humanos, los procesos, la organización del trabajo, los métodos de dirección, control y planificación. [Morejón, 2008]

Las tecnologías que actualmente se utilizan están lejos de alcanzar los límites teóricos de su perfeccionamiento, lo cual significa la existencia de numerosas oportunidades económicas para elevar la Eficiencia energética.

Entre las causas que provocan su disminución en los sistemas eléctricos industriales y de servicios se encuentran los desbalances de voltaje, ellos incrementan las pérdidas provocando sobrecargas y elevando los costos de electricidad, además de afectar el factor de potencia (incrementándolo o disminuyéndolo) y reducir la vida útil de los equipos. [Padrón, 2007]

Hacer una evaluación correcta de las causas que puedan provocar la disminución de la Eficiencia energética de una empresa significa brindar un servicio eléctricamente confiable. Esta debe lograrse en todos los eslabones de la cadena que comienza en las fuentes de energía primaria, y termina en los equipos de uso final. Durante muchos años la mayor atención en el sistema energético se prestó al lado de la producción y suministro de energía, mientras que en las últimas décadas se ha estado haciendo mucho énfasis en las tecnologías y equipos de uso final eficientes y en el control de la demanda.

La Eficiencia energética consiste en la adecuada administración de la energía y su ahorro. La energía es algo que utilizamos a diario y continuamente, pero raramente pensamos en cómo administrarla, no sólo para ahorrar dinero sino también para agredir menos al medio ambiente.

Para esto, es fundamental:

- Cuantificar los ahorros reales en: \$/año y kWh/año.
- Verificar la reducción de costos en las facturas de electricidad.
- Conocer los indicadores de producción (kWh/unidad de producto).
- Calcular la rentabilidad real del proyecto de compensación reactiva.

Lograr la sistematicidad en la gestión energética, garantizar la continuidad, efectividad y rentabilidad en la aplicación de medidas y proyectos de ahorro y la disminución continua de sus costos energéticos permiten elevar la Eficiencia energética de cualquier empresa. La reducción de los costos asociados con el consumo de energía eléctrica resulta imprescindible en la situación actual de la economía del país. Esta necesidad resulta potenciada por el impacto medioambiental de las tecnologías energéticas.

### **1.5 Algunos potenciales de ahorro de la energía eléctrica**

El análisis del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente de La Universidad de Cienfuegos sobre los potenciales de ahorro de energía eléctrica que intervienen en la disminución de estos costos le han permitido definir que todo estudio relacionado con el ahorro de energía eléctrica deben comenzarse a partir de un conocimiento pleno de la tarifa eléctrica que se aplica en la empresa en cuestión.

En la tarifa eléctrica<sup>8</sup> utilizada en Cuba intervienen cuatro elementos que son:

- Demanda máxima ( importe por cargo fijo)
- Energía consumida (importe por cargo variable)
- Precio del combustible (Factor K)
- Factor de potencia

#### **1.5.1 Control de la demanda máxima**

Los cargos por demanda máxima representan un componente apreciable de la factura eléctrica. Dependiendo de la tarifa, del factor de carga, del tipo de planta o instalación,

---

<sup>8</sup> Anuario de tarifas. Ministerio de Finanzas y Precios. Gaceta Oficial 2006.

etc., los cargos directos por este concepto pueden representar del 20 % al 40 % de la factura. [Viego Felipe, 2006]

Los pasos fundamentales para establecer un programa de administración de la demanda son:

- Analizar la tarifa y la factura de electricidad y estudiar si el pago por demanda máxima facturable tiene un peso importante.
- Determinar si existe un potencial de reducción de las demandas máximas, fundamentalmente de la demanda de punta.
- Determinar los días y las horas en que ocurren las demandas máximas durante el período de facturación.
- Identificar cargas que contribuyen a los picos de demanda y determinar cuáles se pueden disminuir, desconectar o desplazar en el tiempo, de acuerdo con el tipo de tarifa.

Los intervalos de 15 minutos utilizados para la determinación de la demanda máxima ofrecen una posibilidad de control, ya que existe un cierto tiempo disponible para apagar o reducir cargas que pueden estar contribuyendo al pico.

El Factor de carga es un parámetro útil para determinar el efecto relativo de la demanda máxima con respecto a la factura eléctrica y que ayuda a evaluar la oportunidad de reducción de demanda.

El factor de carga [Viego, 2006] es la relación entre la carga promedio y la carga pico o demanda máxima. Por carga promedio se entiende aquella, de magnitud constante, que en el transcurso de un tiempo dado (24 horas si se toma un día) comprende la misma energía que la curva de comportamiento diaria. Su expresión será:

$$F_c = \text{carga promedio} / \text{Demanda max} \quad (1.1)$$

El método práctico para obtener el valor del factor de carga es simple. Por ejemplo, para un día dado, un instrumento integrador proporciona la energía total; se divide entre el tiempo y se obtiene la carga promedio con un metro de demanda máxima, se determina esta. Entonces, se calcula el factor de carga según la ecuación anterior.

Otra forma de expresarlo es:

$$F_c = \text{cons. energía (kWh) del periodo} / \text{Fac.} / (\text{Dem. Max.}) \times \text{horas fact.} \quad (1.2)$$

Así, el factor de carga puede calcularse para cada factura eléctrica mensual o promediando al año.

El factor de carga es una medida del aprovechamiento de la capacidad instalada. Es deseable alcanzar el más alto factor de carga posible para que el costo promedio de la

energía pueda ser reducido. El factor de carga se puede incrementar ya sea, aumentando el consumo a demanda constante o reduciendo la demanda a consumo constante.

Un factor de carga bajo en una empresa puede usarse como indicador de la posibilidad de controlar la demanda. El factor de carga ideal de 1, es prácticamente imposible de alcanzar, pero mientras más alto sea, mejor es la utilización de la capacidad instalada en la empresa y menor es el costo promedio de la energía. Para una instalación que opere con un solo turno, el factor de carga está limitado alrededor de 0.25 a 0.30; para dos turnos de operación el máximo factor de carga suele ser de 0.55 a 0.6; mientras que para una operación de 3 turnos se pueden alcanzar factores tan altos como 0.85 a 0.9<sup>9</sup>.

Para controlar la demanda máxima, se deben identificar los tipos de carga:

1. las de base (fundamentales, usualmente de operación continua)
2. las cíclicas
3. las esporádicas

Las lecturas de los instrumentos en las cargas principales (wattómetros, voltímetros, amperímetros, analizadores de redes) se deben recopilar para ayudar a identificar y cuantificar la contribución de cada uno de los equipos a la demanda pico.

El segundo y tercer tipo de cargas representan, por lo general, las que no contribuyen significativamente a los picos de demanda, pero que pueden apagarse con muy poco efecto negativo sobre el proceso. Los equipos seleccionados para el control de cargas, incluyen principalmente aquellos que no son fundamentales en el proceso, sino que son cargas auxiliares no esenciales o cargas cuya operación puede desplazarse en el tiempo. Ejemplos de estas cargas son, en dependencia del tipo de proceso.

1. Equipos de bombeo
2. Calentadores de aire
3. Calentadores de agua
4. Aire acondicionado
5. Cámaras frías
6. Ventiladores

Para el control de la demanda, es muy importante asignar prioridades a las cargas. Las cargas que tienen poco o ningún impacto sobre la prestación de servicios o el confort, pueden considerarse como preferenciales para ser puestas fuera de servicio

---

<sup>9</sup> De Armas M.A . “Consideraciones sobre la calidad de la energía eléctrica en la provincia de Cienfuegos” Convención de la Ingeniería eléctrica FIE 2002, Santiago de Cuba, 2002

temporalmente. A su vez, las cargas con mayor efecto negativo sobre el proceso deben ser las últimas en la lista de prioridades para la desconexión. [Viego, 2006]

La demanda máxima puede ser controlada manualmente o con ayuda de dispositivos automáticos<sup>10</sup>. Con ambos existen ventajas y desventajas; y cada uno tiene diferentes niveles de complejidad y costos asociados.

El control manual de la demanda máxima puede dividirse en:

1. Programación de cargas (acomodo de carga)
2. Monitoreo de la variación de la demanda máxima

El método de control manual de la demanda máxima más sencillo y a la vez efectivo (también llamado acomodo de carga), es hacer un itinerario o programación de la operación de las diferentes cargas, especialmente las de más peso en la demanda. En algunos casos, esto puede consistir en prohibir la operación de ciertas cargas durante un tiempo específico: por ejemplo, una bomba de gran consumo para almacenar agua se dispone que nunca sea operada durante el horario de punta. En otros casos, la programación puede definir tiempos de operación para ciertos lugares de la entidad.

### **1.5.2 Control del consumo de energía**

Mientras que el control de la demanda máxima genera a menudo más interés y en muchos casos significa la mayor oportunidad de ahorro, la parte más significativa de la factura eléctrica está asociada al consumo de energía. Los diagnósticos energéticos realizados en las industrias han demostrado que - como con la administración de la demanda máxima - se encuentra una gran variedad de oportunidades para disminuir y desplazar de horario el consumo de energía de diferentes cargas, así como tener un control más estrecho de este aspecto, que permita reducir los gastos en electricidad<sup>11</sup>.

Al igual que en el caso del control de la demanda máxima, la administración del consumo de energía puede hacerse manualmente o con ayuda de controladores y sistemas automáticos.

El control manual del consumo de energía también consiste en llevar a cabo una programación de la operación de las diferentes cargas, especialmente las de más peso, en este caso, en el consumo de energía. Con ello se determina qué equipos

---

<sup>10</sup> “Control de la demanda”. Módulos tecnológicos CONAE.

<sup>11</sup> De Armas, M.A. ” Calidad de la energía eléctrica al plan de ahorro de energía en Cuba”. Universidad de Cienfuegos, 2003

consumidores de energía eléctrica pueden desplazar su operación hacia horarios de menor costo por kWh y cómo se pueden reducir los consumos individuales.

Al igual que se analizó con la demanda máxima, esto puede ser el prohibir el trabajo de ciertas cargas, durante un tiempo específico, o desplazar hacia otro horario su operación.

El control del consumo de energía no debe comenzarse con un método de control automático sin haber pasado por un método manual de programación de las cargas. Las medidas manuales suelen ser sencillas. Es común encontrar motores funcionando en vacío, luminarias y ventiladores encendidos sin necesidad, bombas trabajando en horarios inadecuados y otros muchos problemas posibles de corregir fácilmente. El personal de seguridad puede entrenarse en la revisión de áreas específicas de una empresa para verificar equipos que estén trabajando innecesariamente. [Viégo y otros, 2006]

Nunca como ahora los dispositivos automáticos para controlar el consumo de energía ofrecen ventajas significativas sobre su contraparte humana. Su confiabilidad es mucho mayor, ya que la fatiga, la falta de atención, actitud inadecuada, falta de capacitación y otras características humanas no entran en juego.

Aunque su costo es un importante factor a considerar en dependencia del tipo y magnitud de la instalación en cuestión como ya se mencionó con respecto al control automático de la demanda máxima la tecnología de los microprocesadores y el desarrollo de nuevas aplicaciones, han hecho a muchos de los nuevos dispositivos más útiles y con una mayor rentabilidad.

### **1.6 Precio del combustible (Factor $K$ )**

El ajuste en las tarifas eléctricas, mediante la aplicación del coeficiente  $K$ , refleja los cambios que ocurren en el precio de los combustibles usados en la generación de la electricidad y se aplica igualmente a todo tipo de tarifa que así lo estipule, independiente de la moneda de pago, de la siguiente forma:

$$K = \frac{\text{importe mensual del combustible (\$)}}{\text{Importe del combustible base de la tarifa (\$)}} \quad (1.3)$$

Se multiplicará el importe del cargo variable por el coeficiente de ajuste por variación del precio del combustible ( $K$ ).

Para el cálculo del importe mensual real, se parte de la base de mantener fija la estructura de consumo de combustible del 2001 en los cálculos del factor  $K$  en las siguientes proporciones:

Fuel oil: 0,454    Crudo: 0,54    Diesel: 0,006

Se multiplica entonces el precio de cada tipo de combustible por la estructura de consumo y la suma de estos tres resultados forma el precio del combustible real del mes o precio ponderado.

El coeficiente  $K$  será el resultado de dividir el precio real entre el precio que se toma como base de \$95.00 la tonelada. El mismo será aplicado a los importes que se recogen en la factura por concepto de kWh en los diferentes horarios. De esta forma queda ajustada la tarifa eléctrica para todos los consumidores en función de la variación del precio de los combustibles. El coeficiente  $K$  se emite en la factura como elemento de comprobación para los clientes.

La resolución especifica también la forma de aplicación del coeficiente  $K$  para las tarifas monomías, compuestas por un solo precio del kWh, que ya tienen incorporado el cargo fijo y el cargo variable<sup>12</sup>.

### **1.7 Factor de Potencia (Fp)**

Todos los aparatos eléctricos que suministran energía ya sea en forma de luz, calor, sonido, rotación, etc. Consumen una cantidad de energía equivalente a la entregada directamente de la fuente de electricidad a la cual están conectados.

Esta energía consumida se denomina Activa, la cual se registra en los medidores y es facturada al consumidor por las respectivas empresas de suministro eléctrico. Algunos aparatos debido a su principio de funcionamiento, toman de la fuente de electricidad una cantidad de energía mayor a la que registra el medidor, una parte de esta energía es la ya mencionada energía activa, y la parte restante no es en realidad consumida sino entretenida entre el aparato y la red de electricidad. Esta energía entretenida se denomina Reactiva y no es registrada por los medidores del grupo tarifario al cual pertenecen los consorcios. La energía total (formada por la activa y la reactiva) que es tomada de la red eléctrica se denomina Aparente y que es la que finalmente debe ser transportada hasta el punto de consumo.

La energía que toman los aparatos de la fuente es de una corriente alterna que tiene que ser convertida en corriente continua, esta conversión provoca desfaseamiento de la corriente y que pierda su forma senoidal originando un Fp bajo.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup>."Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica". CFE. Gerencia comercial.  
<http://www.cfe.gob.mx/gercom/control/tarif100.html>.2001

<sup>13</sup> "Aspectos básicos del Factor de potencia orientados al ahorro de energía eléctrica".FIDE. México D.F., 1992

El hecho de transportar una energía mayor a la que realmente se consume, impone la necesidad de que los conductores, transformadores y demás dispositivos que participan en el suministro de esta energía sean más robustos, por lo tanto se eleva el costo del sistema de distribución. El efecto resultante de una cantidad de usuarios en esta condición, provoca que disminuya en gran medida la calidad del servicio de electricidad (altibajos de tensión, cortes de electricidad, etc.) Por estos motivos las compañías de distribución, toman medidas que tienden a compensar económicamente a esta situación (penalizando o facturando la utilización de energía reactiva).

El Fp expresa en términos generales, el desfaseamiento o no de la corriente en relación al voltaje y es utilizado como indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1.0, siendo la unidad (1.0) el valor máximo del Fp y por tanto el mejor aprovechamiento de la energía.

Por ende el Fp es la relación entre la potencia activa (en wats, W) y la potencia aparente (en volts-ampers, VA) y describe la relación entre la potencia de trabajo o real y la potencia total consumida, definido por la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (1.4)$$

Donde: **P** (*potencia activa*)                      **S** (*potencia aparente*)

Consideraciones del Dr.C. Arturo Padrón Padrón y otros autores (2006) muestran que el Fp indica qué tanto por ciento de la potencia total es efectivamente utilizado para realizar trabajo. Por lo cual, el Fp constituye un índice de la utilización cualitativa y cuantitativa de la energía, que se expresa por el coseno del ángulo entre la potencia activa y la potencia total , Figura 1.



**Figura 1** Triángulo de potencias.

El suministro de energía eléctrica a los servicios de cualquier demanda, teniendo en cuenta el aseguramiento y racional funcionamiento del Sistema Electro-energético Nacional, se lleva a cabo considerando un Fp (cos φ) del cliente de 0,90.

El Fp se determina mensualmente como resultado de la medición de la energía reactiva en el mismo período, obteniéndose la  $\tan \varphi = \text{kVarh/kWh}$  y de esta relación se llega al  $\cos \varphi$  correspondiente. En caso que el servicio no tenga instalado equipo de medición de energía reactiva se tomará como Fp del mismo el promedio resultante de mediciones realizadas durante 24 horas como mínimo.

En el caso de penalización por bajo Fp esta se aplica cuando  $\cos \varphi$  es menor de 0,90. El suministrador facturará la cantidad que resulte de multiplicar el importe de la cuenta correspondiente sin incluir penalizaciones por 0,90 y dividir el producto por el Fp real (obtenido en la última comprobación efectuada).

En el caso de bonificación por Fp, el suministrador facturará la cantidad que resulte de multiplicar el importe de la cuenta correspondiente, sin incluir penalizaciones, por 0,92 y dividir el producto por el Fp real obtenido en la última comprobación efectuada cuando este sea hasta 0,96. Es decir, cuando el Fp sea mayor de 0,96 se bonifica hasta 0,98.

Entre 0,8 y 0,82, no habrá penalización ni bonificación, quedando la factura sin variación. [Viego, 2002]

### **1.7.1 Significado técnico-económico del Fp**

El Fp tiene un importante significado técnico-económico debido a que de su magnitud dependen, en cierta medida, los gastos de capital y explotación, así como el uso efectivo de los equipos de las instalaciones eléctricas.

En la transmisión de la energía las pérdidas desempeñan un elemento fundamental, y para disminuirlas se pueden tener en cuenta: aumentar la tensión de las líneas de transmisión, evitar las transformaciones innecesarias, mejorar el Fp y reducir las corrientes excesivas (picos de demandas)<sup>14</sup>.

Excepto la medida relativa a mejorar el Fp, las restantes presentan serios inconvenientes para su aplicación, ya sea de orden técnico o económico; por lo tanto, el método más factible para disminuir las pérdidas de energía eléctrica de las instalaciones es proteger o aumentar el Fp existente [Viego, 1998]

### **1.7.2 ¿Cómo determinar el factor de potencia en una instalación?**

Cuando se trata de cargas individuales, generalmente el Fp es conocido o puede ser estimado a partir de los datos del fabricante. Si esto no es factible o si se tiene un conjunto

---

<sup>14</sup> Hernández Hernández, Manuel J; Reinoso Tellez, Juana M. [www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energia32/HTLM/artículo\\_0,6.htm-17k-](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energia32/HTLM/artículo_0,6.htm-17k-) (consultado Marzo 2008).

de cargas diferentes, tanto por su naturaleza como por sus tiempos de conexión, es conveniente auxiliarse con equipos de medición.

El Fp se puede evaluar en forma instantánea o como promedio para un intervalo. El conocimiento periódico de valores instantáneos, sobre todo en condiciones de demanda máxima, permite determinar su comportamiento y ofrece una perspectiva para controlarlo. En instalaciones donde la carga no esté sujeta a grandes variaciones durante las horas de trabajo, puede ser considerado un factor de potencia promedio.

Existen varios métodos para determinar el factor de potencia. Los que se han utilizado usualmente son:

- Con instrumentos para medir valores instantáneos.
- Con medidores de energía activa y reactiva.
- Con sistemas avanzados de medición.

Una significativa incidencia tiene el cálculo de la potencia reactiva para corregir el Fp de una instalación, esta puede determinarse a partir de la factura eléctrica, con mediciones en condiciones de demanda máxima, con los registros de los analizadores de redes o a partir de los parámetros eléctricos de la instalación. [Viego y otros, 2007]

### **1.7.3 Causas del bajo Fp.**

Las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, etc., son el origen del bajo Fp ya que son cargas no lineales que contaminan la red eléctrica, en este tipo de equipos el consumo de corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca un bajo Fp.

¿Por qué existe un bajo Fp?

En otras obras del Dr Percy Viego Felipe se explican los inconvenientes de un bajo Fp al plantear que las cargas eléctricas pueden consumir potencia reactiva en tal magnitud, que afectan al Fp de una instalación. En la Figura 1 se puede observar que cuanto mayor sea la corriente reactiva, mayor es el ángulo  $\varphi$  y por tanto, más bajo el Fp.

Como es conocida una de las principales causas de un bajo Fp es el trabajo de los motores asíncronos y de los transformadores con carga incompleta, y el trabajo al vacío de estos equipos. Por esta razón, tiene gran importancia la exacta correspondencia entre los tipos y las potencias de los motores eléctricos con las características y las potencias consumidas de los mecanismos accionados por estos motores.

El Fp, y los efectos que se presentan cuando su valor es reducido, así como los métodos para corregirlo no son temas nuevos, este es un problema permanente y de obligada importancia para todos aquellos cuya actividad se relaciona con el diseño, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas, particularmente de plantas industriales y empresas de servicios, por lo que la revisión periódica de los conceptos no solo es conveniente sino necesaria.

Poder evaluar como varían las pérdidas y el Fp en las instituciones con incidencias de este tipo, las cuales interfieren en la Eficiencia energética, se hace imprescindible; lo que conlleva cronológicamente a establecer una serie de consideraciones para el proceder técnico.

- Ordenamiento del proceso tecnológico.
- Adecuar la capacidad de los motores y los transformadores a sus cargas reales.
- Reducción del voltaje de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga.
- Limitación del trabajo de los motores en vacío.
- Sustitución de motores asíncronos por motores síncronos.
- Elevación de la calidad de la reparación de los motores.
- Instalación de compensadores síncronos (motores síncronos).
- Instalación de condensadores estáticos (capacitores).

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del Fp.<sup>15</sup>

Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la instalación.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos.

---

<sup>15</sup> Guía técnica de la distribución eléctrica en baja tensión. Compensación de la energía reactiva, Schneider Electric, 2001

Según la guía técnica a la que se hace referencia expone que las cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. no causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva.

#### **1.7.4 ¿Por qué resulta dañino y caro mantener un bajo Fp?**

Grandes posibilidades de economizar energía eléctrica poseen no sólo los consumidores domésticos, sino también las empresas industriales y de servicio, sobre todo aquellas que utilizan motores asincrónicos con un bajo Fp. En estos casos, el aumento racional del Fp es un paso serio en la solución de los problemas generales de la economía de la electricidad. El análisis profundo del trabajo de estas unidades, en cada caso concreto, debe revelar las vías idóneas para economizar energía eléctrica.

Un bajo Fp en su empresa, produce los siguientes inconvenientes:

##### **Al suscriptor:**

- Aumento de la intensidad de corriente.
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.
- Aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.

##### **A la empresa distribuidora de energía:**

- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
- Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.

#### **1.7.5 ¿Cómo mejorar el Fp?**

Para obtener las máximas ventajas de compensación de la potencia reactiva, es necesario determinar el Fp óptimo, es decir, ese Fp en el cual las ventajas técnico económicas son máximas.[Viego, 1998]

Mejorar el Fp resulta práctico y económico por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria, algo menos económico si no se dispone de ellos.

Los métodos para la elevación del Fp pueden ser considerados dentro de los dos grupos siguientes:

- Reducción del consumo de potencia reactiva sin la aplicación de medios compensadores.
- Aplicación de medios compensadores.

Para mejorar el Fp en una empresa se debe actuar en primer orden sobre el método en que no se usan medios compensadores debido a que para su ejecución, en términos generales, no se requieren grandes inversiones capitales. A este grupo pertenecen las siguientes medidas técnicas:

- Control de la demanda máxima y del consumo de la energía eléctrica.
- Desconexión de motores eléctricos y transformadores trabajando en vacío.
- Selección adecuada de la potencia de los motores eléctricos.
- Uso de los motores y de transformadores de alta eficiencia.
- Aplicación de accionamientos eficientes.
- Operación económica de transformadores.
- Selección adecuada de la potencia de los transformadores.
- Mejora de la efectividad y la eficiencia en los sistemas de iluminación.
- Mejora de la calidad de energía eléctrica.
- Aprovechamiento de las capacidades de generación y cogeneración.
- Reparación eficiente de las máquinas eléctricas.
- Incremento del voltaje nominal de operación de los motores.

A continuación se tratará de explicar de una manera sencilla y sin complicadas ecuaciones ni términos, el principio de cómo se mejora el Fp:

El consumo de kW y kVAr (kVA) en una industria se mantiene inalterable antes y después de la compensación reactiva (instalación de los condensadores), la diferencia estriba en que al principio los kVAr que esa empresa estaba requiriendo, debían ser producidos, transportados y entregados por la empresa de distribución de energía eléctrica, lo cual como se ha mencionado anteriormente, le produce consecuencias negativas.

Pero esta potencia reactiva puede ser generada y entregada de forma económica por cada una de las industrias que lo requieran, a través de los bancos de capacitores y/o

motores sincrónicos, evitando a la empresa de distribución de energía eléctrica, el generarla, transportarla y distribuirla por sus redes.

A menudo es posible ajustar el Fp de un sistema a un valor muy próximo a la unidad. Esta práctica es conocida como mejora o corrección del Fp y se realiza mediante la conexión a través de conmutadores (en general automáticos) de bancos de condensadores o de inductores. Por ejemplo, el efecto inductivo de las cargas de motores puede ser corregido localmente mediante la conexión de condensadores. En determinadas ocasiones pueden instalarse motores sincrónicos con los que se puede inyectar potencia capacitiva o reactiva con tan solo variar la corriente de excitación del motor.<sup>16</sup> (Ver Anexo1)

Las pérdidas de energía en las líneas de transporte de energía eléctrica aumentan con el incremento de la intensidad. Como se ha comprobado, cuanto más bajo sea el Fp de una carga, se requiere más corriente para conseguir la misma cantidad de energía útil. Por tanto, como ya se ha comentado, las compañías suministradoras de electricidad, para conseguir una mayor eficiencia de su red, requieren que los usuarios, especialmente aquellos que utilizan grandes potencias, mantengan los factores de potencia de sus respectivas cargas dentro de límites especificados estando sujetos, de lo contrario, a pagos adicionales por energía reactiva.

La mejora del Fp debe ser realizada de una forma cuidadosa con objeto de mantenerlo lo más alto posible, pero sin llegar nunca a la unidad, ya que en este caso se produce el fenómeno de la resonancia que puede dar lugar a la aparición de tensiones o intensidades peligrosas para la red. Es por ello que en los casos de grandes variaciones en la composición de la carga es preferible que la corrección se realice por medios automáticos<sup>17</sup>.

De forma actualizada se exponen una serie de disposiciones destinadas al mejoramiento del índice de utilización de la energía, es decir, el Fp.

- Exacta correspondencia entre los tipos y las potencias de los motores eléctricos, con las características y potencias consumidas por los mecanismos accionados por esos motores, de forma tal que la potencia que demande el mecanismo accionado cargue completamente al motor, es decir, que desarrolle su potencia nominal o muy próxima a ella.

---

<sup>16</sup> “Aspectos básicos del Factor de potencia orientados al ahorro de energía eléctrica”.FIDE. México D.F., 1992

<sup>17</sup> Feodorov, A.A .; Rodríguez, E. “Suministro eléctrico de empresas industriales”, Editorial pueblo y Educación”, La Habana ,1985

- Evitar al máximo el trabajo prolongado de los motores en régimen de vacío, por lo que se debe prever la desconexión automática durante el tiempo de trabajo sin carga, con su posterior conexión.
- Cambio de un motor asincrónico por otro de menor potencia. Esto funciona cuando el motor asincrónico está cargado entre 40 y 50 % de su potencia nominal, ya que el efecto económico obtenido por el incremento del  $\cos \Phi$  amortiza con creces los gastos de compra y montaje de los nuevos equipos. Si la carga media del motor asincrónico es igual o mayor que 70 % de la carga nominal, entonces el cambio por otro motor de menor potencia no es racional.
- Cambio en la conexión de los motores, manteniendo la misma tensión de la alimentación. Para los motores asincrónicos sistemáticamente cargados entre un 40 y 50 % de su potencia ( $P_n$ ) debe utilizarse el cambio de la conexión delta a estrella con la misma tensión de la red, debido a que en este caso a cada fase del estator llega una tensión menor, por lo que disminuye también el consumo de energía reactiva ( $Q$ ). Es necesario tener en cuenta que con tal conmutación el par del motor disminuye tres veces.
- Garantizar reparaciones de calidad a los motores eléctricos. La magnitud de la corriente del vacío de los motores asincrónicos (corriente reactiva) aumenta también con la baja calidad de las reparaciones de estos motores, la incorrecta conexión de las secciones de las bobinas y la variación en el proceso de enrollado de los parámetros del motor con respecto a los de su certificado técnico.
- Operaciones de los motores eléctricos con sus tensiones nominales de operación.

Existen algunas ventajas al mejorar el  $F_p$ , ellas son:

- Reducción de la factura eléctrica.

El uso principal de los capacitores en el sistema y a menudo el factor determinante para emplear motores sincrónicos en una instalación, es la presencia de la tarifa eléctrica de una penalización por bajo  $F_p$ .

Es común para inversiones de capacitores, que estas se paguen en plazos muy pequeños 0,5 – 3 años para aquellos de 460 - 575 V; ó 2 - 6 años para capacitores de 230 V, solo por concepto del ahorro obtenido con la eliminación del penalización por bajo  $F_p$ .

El efecto de la factura de un incremento del  $F_p$  puede ser considerable si el  $F_p$  inicial es inferior al 90%. Por lo general, para tomar plena ventaja de la bonificación,

se acostumbra compensar hasta un Fp cercano hasta el 96%, aunque siempre una decisión final debe estar acompañada de un adecuado análisis económico.

- Liberación de la capacidad del sistema

Cuando los capacitores o motores sincrónicos están operando, ellos suministran los requerimientos de potencia reactiva de la carga y reducen la corriente circulante desde la fuente hasta el punto de ubicación de los compensadores. Menos corriente significa menos carga en kVA para generadores, transformadores, cables, etc.

Por lo tanto, los medios compensadores, pueden utilizarse para reducir la sobrecarga de los circuitos; o, si estos no están sobrecargados, permitirá el incremento de su capacidad de carga.

- Reducción de pérdidas

En la mayoría de las instalaciones las pérdidas de energía en el sistema de distribución representan entre el 2.5 – 7.5% de la energía consumida por las cargas. Estos dependen de la variabilidad de las cargas, el calibre y la longitud de los circuitos, etc.

Los medios compensadores solo pueden reducir la parte de las pérdidas debido a la circulación de la potencia reactiva.[Viego, 1998]

El aumento del Fp se puede alcanzar por dos vías:

- Racionalizando el trabajo de los equipos eléctricos instalados en las unidades consumidoras; es decir, mediante medidas que no exigen la utilización de dispositivos de compensación y cuya aplicación siempre es racional.
- Compensando la potencia reactiva en los consumidores; es decir, por medio de medidas relacionadas con la utilización de dispositivos de compensación y cuya aplicación tiene sentido sólo en ciertos casos.

Cuando se compensa la potencia activa las ventajas que se pueden obtener son de dos tipos:

- Lograr la máxima economía anual mediante la disminución de las pérdidas de energía eléctrica.
- Aumentar la capacidad de carga de la red, líneas y transformadores.

Para calcular la potencia reactiva necesaria para corregir el Fp existen diferentes vías:

- A partir de la factura eléctrica
- Con mediciones en condiciones de demanda máxima

- Con los registros de los analizadores de redes

### **1.7.6 Consideraciones para la localización de los capacitores**

Como se había mencionado anteriormente la forma más práctica y económica para corregir el  $F_p$ , es mediante capacitores de potencia, los cuales se pueden situar en distintos puntos de una instalación eléctrica. De esta forma, los generadores, cables, transformadores y demás elementos del sistema se descargan del reactivo circulante.

Mientras mas cerca se conecte de la carga por compensar, mayor es el beneficio que reportan, ya que la potencia reactiva es confinada a segmentos pequeños de la instalación. El caso ideal sería emplazar los capacitores junto a la carga inductiva, pero debido al alto costo que esto representa, se opta por soluciones intermedias. De la selección y ubicación de los equipos de compensación dependen su costo y la magnitud de pérdidas de energía eléctrica.

La localización de los capacitores en la red se determinan según:

- El objetivo buscado: supresión de las penalizaciones por bajo factor de potencia; reducción de la carga en líneas y transformadores; aumento de la tensión en los extremos de las líneas; etc
- El régimen de carga
- Las influencias de los capacitores en la red
- El costo de la instalación

Siempre que sea posible, los capacitores deben localizarse lo más cerca posible de la carga en el nivel de baja tensión. La mejoría del  $F_p$ , la liberación de capacidad eléctrica, la reducción de las pérdidas de potencia y de las caídas de tensión se hace efectiva desde el punto de ubicación hacia la fuente de suministro.

En el anexo 2 se muestra las principales ubicaciones que pueden tener los capacitores dentro de un circuito:

- En los bornes de motores asíncronos (unidad motor-capacitor)
- En las pizarras de fuerza de baja tensión
- En los centros generales de distribución de baja tensión
- En los centros generales de distribución de media tensión

Desde el punto de vista puramente técnico, las mejores ubicaciones serían C1 (variante A, B y C) y C2, ya que son las más cercanas a la carga. Sin embargo, no es siempre práctico o económico localizar los capacitores de esta manera.

La mayoría de las instalaciones industriales y de servicios contienen un gran número de cargas pequeñas que no son adecuadas para compensar mediante capacitores, que por ser fabricados en tamaños estándar no se adaptan a las necesidades de reactivo de dichas cargas.

Por otra parte, no todas estas cargas están conectadas permanentemente a la red, por lo que es posible sacar ventaja del factor de diversidad de dichas cargas con una localización centralizada en C3 por ejemplo, si solo el 50% de la carga esta conectada en cada momento, el banco de capacitores solo requiere la mitad de la potencia reactiva necesaria para compensar el total de la carga.

Teniendo en cuenta la compensación en los centros generales de distribución:

La potencia reactiva de un número de cargas de distintas capacidades y diferentes períodos de conexión, puede ser compensada con un banco único de capacitores, con lo que se tiene una mejor utilización de su potencia y se mejora en general el nivel de tensión. Sin embargo, con esta variante no se reducen las pérdidas en el sistema eléctrico de la instalación aguas abajo. Los puntos C3 y C4, en los lados de baja y de alta del transformador, respectivamente, corresponden a este tipo de compensación con el banco instalado en la entrada de la instalación.

La compensación puede ser fija o automática.

Valores indicativos para la selección entre estas dos variantes se realiza comparando la capacidad del banco ( $Q_c$ ) con la potencia del transformador ( $S_n$ ).

Entonces se recomienda:

- Si  $Q_c \leq 15\%$ , la compensación es fija
- Si  $Q_c > 15\%$ , la compensación es automática o mixta.

En el caso de la compensación fija, se recomienda que la potencia de los capacitores no exceda, aproximadamente, el 10% de la capacidad del transformador, con lo que se evitan problemas de resonancia y se reducen las pérdidas cuando se trabaja en vacío.

En el caso de las instalaciones en las que se tienen grandes motores u otras cargas con un gran consumo de reactivo, en comparación con el resto de las cargas, suele ser conveniente combinar las dos variantes. Por ejemplo, compensando individualmente las cargas de gran capacidad y para las restantes, instalar bancos de capacitores para compensación en los centros de distribución de motores de baja tensión y en los centros generales de distribución.[Viego y otros, 2007].

El cálculo para la compensación de la energía reactiva se realiza fundamentándose en el triángulo de las potencias a través de la expresión:

$$\Delta Q_r = Q_1 - Q_2 \quad (1.5)$$

Donde:

$Q_1$ : Energía reactiva antes de compensar

$Q_2$ : Energía reactiva después de compensar

$$Q_1 = P_1 \frac{\sin \varphi_1}{\cos \varphi_1}$$

$$Q_1 = P_1 \tan \varphi_1$$

$$Q_2 = P_2 \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2}$$

$$Q_2 = P_2 \tan \varphi_2$$

$$\Delta Q_r = P_1 \tan \varphi_1 - P_2 \tan \varphi_2 \quad P_1 = P_2 = P$$

$$\Delta Q_r = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (1.6)$$

### **Conclusiones del capítulo**

1. La Eficiencia energética se asocia a la eficiencia económica e incluye aspectos tecnológicos, económicos y de comportamiento.
2. En la búsqueda de información sobre el tema en bibliografías consultadas, se ha localizado como herramienta el Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía, elaborada por el Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos, la cual será de gran utilidad para realizar el estudio de Eficiencia electroenergética del circuito de la ampliación del Hospital Pediátrico Provincial de Holguín.



## ***CAPÍTULO 2***

***Análisis Técnico Económico para mejorar la Eficiencia electroenergética en el circuito de la ampliación del Hospital Pediátrico de Holguín***

MEJORA DE LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA DEL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.

## **CAPITULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA EN EL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.**

El presente estudio basado en el trabajo de campo, compendia la información sobre el comportamiento del consumo de energía eléctrica y su evaluación, así como en el diagnóstico realizado con vistas a estimar las potencialidades existentes para disminuir el consumo de energía eléctrica y realizar proyecto de mejora con el fin de lograr una mayor Eficiencia electroenergética en el circuito de ampliación.

### **2.1 Contexto histórico social del objeto de estudio**

Construido en el año 1957 bajo el diseño del arquitecto Luís Rodríguez Colombié, inicialmente concebido como Palacio de Justicia, donde se instalaron la audiencia y los diferentes juzgados territoriales. Después del triunfo de la Revolución funcionó por más de dos años como dependencia y órgano del sistema judicial revolucionario.

El Hospital Pediátrico Provincial de Holguín se encuentra situado en Avenida de los Libertadores 91, tiene un perfil clínico quirúrgico universitario y pertenece a la Dirección Provincial de Salud del poder popular.

La creciente demanda de necesidades de atención, incluyendo de las provincias vecinas de Las Tunas y Granma motivó la ampliación del edificio cuyos trabajos de construcción civil se iniciaron en el año 1977 y culminaron en 1987, dotando el hospital de 610 camas. En el presente cuenta con 469 camas, prestación de servicios de 35 especialidades médicas, 8 laboratorios y dos unidades quirúrgicas para la cirugía de urgencia y la cirugía electiva.

#### **Objeto Social de la entidad:**

El Hospital Pediátrico Provincial Docente “Octavio de la Concepción de la Pedraja” está encargado de brindar servicios de salud a los niños y adolescentes en las especialidades y modalidades que caracterizan a la entidad, efectuar el control higiénico epidemiológico del medio intrahospitalario, actividades de educación para la salud a la población, brindar atención integral de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de la salud en la población. Realizar actividades docentes e investigativas, fundamentalmente de perfeccionamiento de técnicos y especialistas.

**Misión de la entidad:**

El hospital busca el mejoramiento de la situación de salud de la población pediátrica a través de la mejor calidad de los servicios, brindando atención integral e integrada a sus áreas de influencia propiciando la participación comunitaria y la autogestión, en correspondencia con criterios de prioridad del riesgo epidemiológico de los diferentes grupos vulnerables, con utilización eficiente de los recursos materiales y financieros disponibles, recursos humanos motivados y con capacitación actualizada, aplicando la tecnología más adecuada y promoviendo un grado de satisfacción favorable permanentemente.

**Visión de la entidad:**

Alcanzada la condición de institución líder de los hospitales pediátricos del entorno dirigida a las niñas y los niños hasta su adolescencia con servicios de excelente calidad lograda la satisfacción plena de pacientes, familiares y trabajadores con un desarrollo armónico y creciente de perfeccionamiento continuo a través de la fijación de objetivos mutuos con énfasis de grupo.

En las actuales condiciones de desarrollo socioeconómico y de extensión y profundización del aspecto económico y energético, la utilización racional de los recursos en materia de energía eléctrica forma parte de las prioridades de las estrategias trazadas por el Ministerio de Salud Pública (MINSAP), por tanto la Eficiencia energética es la materialización de esta investigación.

**Descripción del sistema eléctrico**

El hospital se encuentra eléctricamente dividido en dos servicios con alimentaciones diferentes, una a 440V (Servicio Ampliación) y la otra antigua a 220V (Servicio Hospital). El servicio de 220V con un banco de transformadores de 3 X 167 KVA con conexión  $\Delta/\text{Y}$  y un voltaje de 13.2/220V. La subestación eléctrica del servicio de ampliación (440V) está formada por dos transformadores sobredimensionados de 630 KVA cada uno con 13.8/440V con una conexión  $\Delta/\text{Y}$ , grupo 11 para una capacidad total de 1260KVA. El esquema de suministro por la parte de alta tensión está realizada por medio de dos circuitos independiente cada

una con un desconectivo pasivo para apertura sin carga, los cuales se interconectan en un juego de barra común de conductores desnudos de aluminio al primario de los dos transformadores, sin que exista otro medio desconectivo entre estas barras y los

transformadores. La parte de baja tensión tiene una solución similar, es decir la salida de ambos transformadores se interconectan a un juego de barras de cobre rígidas de 100/10 mm<sup>2</sup>, sin que medie ningún desconectivo entre estas y la salida de los transformadores, se señala la falta de conductor de neutro en la instalación. En este servicio se leen los valores más bajos del Factor de potencia. (Ver Anexo 3)

A continuación se explican los materiales y métodos utilizados a lo largo del proceso de investigación.

## **2.2 Materiales y Métodos empleados en la investigación**

En el nivel **experimental**:

- observación directa e indirecta: se acude al conocimiento del problema mediante el vínculo con relación al objeto, se realizan estudios de investigaciones precedentes para adquirir conocimiento sobre la investigación, así como estadísticas de históricos donde se evidencia el deterioro de los valores presentes en la facturación eléctrica.

En el nivel **teórico**:

- histórico-lógico, al revisar la literatura científica se necesita para tener un orden cronológico sobre como se ha ido desarrollando el tema a través del tiempo la evolución en su tratamiento y distribución en la historia, donde lograr un uso racional de la energía con la calidad necesaria es un paso decisivo lograr elevar la Eficiencia electroenergética de la institución.
- inducción y deducción, se recopila información sobre el tema, que luego se analiza en un marco general y permite valorar la situación propia de investigación partiendo del conocimiento adquirido sobre el uso de electricidad, su consumo y distribución para luego deducir las posibles soluciones en cuanto a mejoras energéticas se refiere.
- análisis y síntesis, posibilita determinar los factores que influyen en un sistema de mejoras energéticas, permite analizar toda la información recogida, interrelacionar todos los efectos que explican el problema y analizar los nexos internos y dependencias reciprocas para lograr respuestas que apoyen la hipótesis y den lugar a la solución.

## **2.3 Procedimiento Metodológico a utilizar en el proceso de investigación en el Hospital Pediátrico de Holguín**

A continuación se brindan los medios a utilizar para facilitar la realización de la valoración de la situación actual y futura de la Eficiencia electroenergética en la institución objeto de estudio a manera de procedimiento:

Este trabajo se apoya en el desarrollo de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la energía (TGTEE), que sintetiza la experiencia, procedimientos y herramientas obtenidas en la labor por elevar la eficiencia y reducir los costos energéticos en las industrias y los servicios.

La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos de una empresa.

Esta tecnología incorpora un conjunto de procedimientos y herramientas innovadoras en el campo de la gestión energética. Es particularmente novedoso el sistema de control energético, que incorpora todos los elementos necesarios para que exista verdaderamente control de la Eficiencia energética. De esta herramienta en la investigación se utilizarán:

- Diagnóstico energético y socio ambiental
- Aplicación de acciones y medidas
- Seguimiento y control.

### **Diagnóstico Energético y socioambiental**

El diagnóstico energético se realizará como paso previo para establecer el punto de partida que permita la elaboración de un programa de ahorro, identificando los principales potenciales de ahorro energético y económico, además de definir el posible proyecto de mejora de la Eficiencia electroenergética. Es la herramienta básica para saber cuanto, como, donde y por qué se consume energía dentro del sistema y para establecer el grado de eficiencia de su utilización. Con el diagnóstico energético se persiguen los siguientes objetivos:

1. Evaluar cuantitativamente y cualitativamente el consumo de energía.
2. Determinar la eficiencia energética, pérdidas y despilfarros de energía en equipos y procesos.
3. Identificar potenciales de ahorro energético y económico.
4. Establecer indicadores energéticos de control y estrategias de operación y mantenimiento.

5. Definir posibles medidas y proyectos para ahorrar energía y reducir costos energéticos, evaluados técnica y económicamente.

De acuerdo a la profundidad y alcance del diagnóstico se realizan dos tipos:

- Diagnóstico energético preliminar.

Este diagnóstico se centra en el análisis de los equipos y sistemas de conversión primaria y distribución de energía, los equipos auxiliares, sin abarcar los procesos tecnológicos. Analiza principalmente sistemas tales como generación y distribución de vapor, generación y suministro de electricidad, sistema de refrigeración, aire acondicionado, agua, aire comprimido, iluminación, etc.

Ofrece una visión detallada de los patrones de utilización y costos de la energía y permite definir un conjunto de medidas de ahorro que, evaluada técnica y económicamente, proporcione la información necesaria para un diagnóstico de nivel 2.

- Diagnóstico energético profundo.

Consiste esencialmente en una recolección de información y su análisis, poniendo énfasis en la identificación de fuentes de posible mejoramiento en el uso de la energía, este diagnóstico abarca a los equipos, procesos tecnológicos y aspectos del mantenimiento, se realizaron pruebas de campo utilizando instrumentos de medición, se realizaron balance energético y cálculos de potenciales de ahorro, así como la proposición y evaluación técnico económica de medidas y proyectos de inversión para mejorar la Eficiencia electroenergética.

### **Alcance del Diagnóstico**

El diagnóstico preliminar se realizará a través de una inspección de recorrido realizada por las diferentes áreas del hospital, se destacan algunas propuestas que pueden llevarse a cabo en los servicios, detectándose varias posibilidades de ahorro, que a continuación relacionamos:

#### **ELECTRICIDAD**

- Acomodar cargas fuera de las horas pico en lo posible.
- Alternar los tiempos de arranque para los equipos con altas cargas de inicio para minimizar la carga pico.
- Corregir el Factor de potencia como mínimo hasta al menos el 90% bajo condiciones de carga nominal.

- Instalar bancos de capacitores.

## **ILUMINACIÓN**

- Reducir niveles de iluminación excesiva a los niveles estándares usando interruptores y otros medios.
- Instalar alternativas eficientes en lugar de luces incandescentes, bombillas de vapor de mercurio, etc.
- Sustituir lámparas de 40 W por 32 W
- Desconectar por completo lámparas o focos fundidos o quemados.
- Instalar lâminas o tejas translúcidas.

## **MOTORES**

- Escoger la potencia adecuada para la carga de trabajo para obtener un mejor rendimiento.
- Chequear el alineamiento.
- Chequear condiciones de bajos y altos voltajes.
- Balancear las tres fases en los sistemas de suministro eléctrico.
- Evitar rebobinar los motores más de dos veces.
- Instalar capacitores en los motores de mayor capacidad.
- Verificar la tensión en los alimentadores de los motores.
- Controlar la temperatura del aceite de lubricación para disminuir las pérdidas por fricción.

## **CLIMATIZACION**

- Completa hermeticidad en los locales que tienen un suministro constante de clima centralizado y los que utilizan aires domésticos y split.
- Desconexión en salas especializadas protegidas por el clima central cuando este en plena capacidad de funcionamiento, el doble sistema de suministro.
- Cumplir con la desconexión de aires acondicionados no tecnológicos en los horarios de máxima demanda.
- Cumplir con las medidas de graduación del termostato a la temperatura requerida.

La tabla muestra el comportamiento cualitativo y cuantitativo de los consumos de energía en el periodo seleccionado para la investigación, en el cual a partir del mes de mayo se incorporan las principales cargas de este servicio, referentemente al sistema de clima centralizado el cual constituye el 58% de toda la carga del circuito de la ampliación de Hospital Pediátrico de Holguín.

Tabla No.2: Consumo eléctrico del Hospital Pediátrico de Holguín correspondiente al año 2009.

Fecha	Cons.Día	Cons. Pico	Cons. Pérd.	Fp	Cons.Total
01/12/2009	115500	24500	2932	81.0	142932
01/11/2009	156000	30500	3508	83.0	190008
01/10/2009	115000	22000	2838	85.0	139838
01/09/2009	156000	29500	3412	86.0	188912
01/08/2009	139500	25000	3149	87.0	167649
01/07/2009	152500	30000	3253	88.0	185753
01/06/2009	153500	25500	3309	87.0	182309
01/05/2009	114000	19000	2815	84.0	135815
01/04/2009	45500	8500	2395	78.0	56395
01/03/2009	45500	8500	2427	49.0	56427
01/02/2009	36500	6500	2334	90.0	45334

Fuente: Datos de la facturación correspondiente al año 2009

Como se observa en la tabla anterior el deterioro del Fp alcanza valores correspondientes a penalizaciones continuas con pagos elevados por este concepto. Cuantificando el consumo total por pérdidas en este periodo se obtiene un valor de 35375 kW mostrándose en gran medida la baja Eficiencia electroenergética de este sistema.

En la siguiente tabla se muestran los pagos por conceptos de pérdidas y penalizaciones por Fp referentes a estos consumos para un total de \$ 3053.17 y \$ 14575.51 respectivamente.

Tabla No.3: Importe por pérdidas y penalización por Fp del Hospital Pediátrico de Holguín correspondiente al año 2009.

Fecha	Imp. Cons. Pérdida(\$)	Imp. Pen. Fp(\$)
01/12/2009	257.28	1521.36
01/11/2009	376.61	1816.11
01/10/2009	235.14	748.2
01/09/2009	291.08	801.65
01/08/2009	271.02	537.44
01/07/2009	267.26	372.88
01/06/2009	275.42	561.66
01/05/2009	234.94	888.7
01/04/2009	200.02	896.91
01/03/2009	197.6	4789.02
01/02/2009	190.64	0
<b>Total</b>	<b>3053.17</b>	<b>14575.41</b>

Fuente: Datos la facturación correspondiente al año 2009

Al revisar el banco de problemas de la institución, se identificaron una serie de inconvenientes que atentan contra el desempeño eficiente del sistema energético el centro, algunos de ellos son:

- El hospital posee dos alimentaciones diferentes, al lograr la interconexión del doble enlace, manteniendo una sola entrada de la red al sistema, se consigue una unificación de las cargas y se unifica el sistema de emergencia de grupos electrógenos.
- No existe seccionalización de circuitos en la mayor parte de las áreas del hospital, debe evitarse las luminarias con empalmes en la cablería de los interruptores lo que trae consigo la permanencia de luces encendidas innecesariamente.
- Carencia de falso techos en algunos departamentos y ventanas en mal estado, su reparación evitaría pérdidas en locales protegidos por el clima central, disminuyendo así el consumo de energía eléctrica.
- Avería del hidráulico del mangle del departamento de lavandería
- Los esquemas de tierras implementados no cumplen con los requerimientos técnicos mínimos de operación para hospitales. No se cuenta con las protecciones necesarias de vigilancia de aislamiento y protección diferencial.
- Las pérdidas de los transformadores secos instalados en el sistema de Ampliación son estimadas en más de 4MWh al año, por lo que el consumo de energía reactiva es considerable.
- Mejorar el Fp de la instalación

### **Aplicación de acciones y medidas**

Se valoro la aplicación de una serie de medidas que contribuyen a identificar potenciales de ahorro energético y económico, estas se dividieron en tres grupos:

- **Medidas de ahorro que no requieren de inversión económica**
  1. Desconectar los aires acondicionados, donde no existan equipos tecnológicos en los horarios de máxima demanda.
  2. Parar dos ascensores en los horarios que disminuya el tráfico de personal en el hospital tanto personal de servicio como pacientes.
  3. Realizar análisis mensual del comportamiento de los índices de consumo de electricidad en todos los niveles de actividad del centro.

4. No utilizar durante el horario pico en uso discriminado las cocinas eléctricas de las salas de hospitalización para el calentamiento de agua y leche de los pacientes.
5. Desconectar las cámaras de mantenimiento y congelación en el horario de máxima demanda del hospital manteniéndolas herméticamente cerradas durante este horario.

- **Medidas de ahorro que requieren baja inversión económica.**

1. Garantizar el óptimo estado de técnico de los equipos consumidores de energía eléctrica mediante los mantenimientos planificados para disminuir los consumos.
2. Gestión de un número considerable de interruptores y material eléctrico para la seccionalización de circuitos en la mayor parte de las áreas del hospital.
3. Reparación de falso techos y ventanas para evitar pérdidas en locales climatizados por el sistema clima central.
4. Reparación del Hidráulico del Mangle del departamento de lavandería para disminuir el sobreconsumo de energía eléctrica de este equipo.
5. Interconexión del doble enlace del hospital, manteniendo una sola entrada de la red al sistema consiguiendo una unificación de las cargas y unificar el sistema de emergencia de grupos electrógenos, evitando así un numero considerable de pérdidas en el sistema.

- **Medidas de ahorro que precisan de gran inversión económica.**

1. Mejorar el Fp: Este oscila alrededor de 0,86, por lo que la institución se encuentra penalizada por la Empresa Eléctrica en este servicio.
2. Disminuir las pérdidas por transformación: La unidad transformadora tiene una capacidad de 1260 kVA y solo se emplea el 34% de la potencia instalada.
3. Medición y análisis del suministro y de la distribución eléctrica: Es necesario disponer de equipos que midan y analicen la calidad de la energía eléctrica suministrada para aprovechar al máximo toda la energía disponible y así evitar las penalizaciones de las compañías (negociación de contratos). Algunas de las mediciones a tener en cuenta son la filtración de los armónicos para reducir los calentamientos, las pérdidas y evitar disparos intempestivos.

### **Seguimiento y control**

Para lograr elevar la Eficiencia electroenergética del circuito de ampliación del Hospital Pediátrico de Holguín no solo debe existir un plan de medidas sino contar

con la utilización de un sistema de gestión energética, como herramienta de trabajo, que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos en la calidad de prestación de los servicios y al mismo tiempo en el consumo en función de la eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol al existir preocupación e interés por la Eficiencia electroenergética con la divulgación de los resultados.

## **2.4 Resultados del diagnóstico**

### **2.4.1 Descripción del Sistema**

La Subestación Principal Reductora (SPR) está formada por dos transformadores trifásicos de 630 kVA en paralelos a un nivel de voltaje de 13,2 kVA por el primario en conexión delta y 480-277 V por el secundario con conexión estrella aterrada, voltaje de cortocircuito de 5,51%, corriente nominal 750 A por cada unidad, construidos en julio de 1986.

Desde los bornes de cada transformador salen dos conductores por fase de 750 MCM hasta un juego de barras donde se forma el paralelo, desde este juego de barras autos soportados en madera se conectan cinco conductores por fase del mismo calibre, dos hacia el transferencial del grupo y tres hacia el interruptor principal en la Pizarra General de Distribución (PGD).

Un grupo electrógeno de 500 kVA, 480 V- 277 V, fabricado por GUASCOR en abril de 2005, brinda servicio de emergencia cuando se interrumpe el suministro de energía por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) por medio de un transferencial automático de 800 A fabricado por SOCOMEC conectado a través de dos conductores por fases de 240 mm<sup>2</sup> al juego de barras II de la PGD.

La PGD está formada por 6 cubículos, 31 interruptores, y dos secciones de barras. La distribución radial del esquema propicia que desde este cuadro partan todos los circuitos de los tres centros de cargas existentes. En estos centros el voltaje es reducido por medio de transformadores trifásicos secos de 460/220-127 V y 460/208-120 V distribuyendo según sea el caso a cuadros de distribución secundaria y terminal en los distintos niveles del edificio.

Otras cargas importantes son alimentadas desde la PGD como los ascensores por medio de transformadores secos de 16 kVA de 480-400V, dos unidades climatizadoras

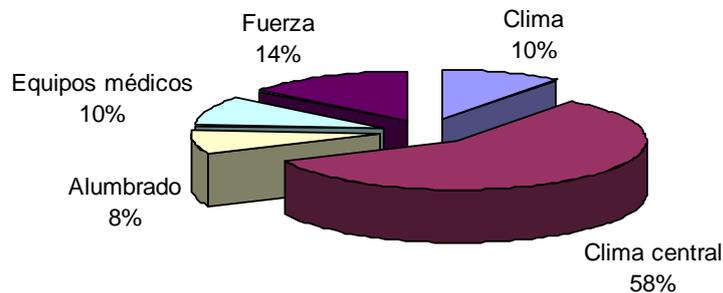
centrales, una de ellas por medio de un banco de autotransformadores monofásicos de 90kVA cada uno en conexión delta-delta, 460-220 V, los equipos de resonancia magnética y la alimentación de un transferencial manual para el servicio de terapia intensiva por medio de un transformador.

#### **2.4.2 Levantamiento eléctrico**

El levantamiento eléctrico de todos los equipos instalados en las áreas y departamento que pertenecen al sistema de Ampliación (Ver anexo 4), permite conocer el comportamiento de la carga conectada, su régimen de trabajo y las horas en que coinciden las diferentes cargas, con estos elementos se puede establecer límites de demandas y consumos en las diferentes horas del día. Además, esta actividad reviste gran importancia debido a que se revisa el estado de toda la instalación eléctrica, sistema de aterramiento y equipotencialidad, sistema de descargas atmosféricas, estado de los cuadros eléctricos y elementos que lo integran.

Para el análisis de los consumidores estos fueron clasificados como Carga de alumbrado, fuerza, clima y equipos médicos. En la carga de alumbrado se relaciona todas las luminarias de uso general, en carga de fuerza se agruparon todo consumidor conectado a tomacorriente que no sea ni equipamiento médico o clima y equipos directos a cuadros como motores eléctricos, compresores de aire, refrigeradores, cámaras frías, ventiladores. Los equipos de aire de ventana, clima centralizado, split y consolas son agrupados en la carga de clima, así como todo el equipamiento de diagnóstico médico, luminarias de quirófanos entre otros destinados a estos fines fueron agrupados como carga de electromedicina. En la Figura 2 se aprecia que el 68 % de la carga instalada corresponde a la carga de clima del Hospital, es importante resaltar que desde este servicio se encuentra conectado el clima central de toda la institución. Del resto de las cargas instaladas el equipamiento de fuerza representa el 14 %, equipos médicos el 10% y el 8% la carga de alumbrado general.

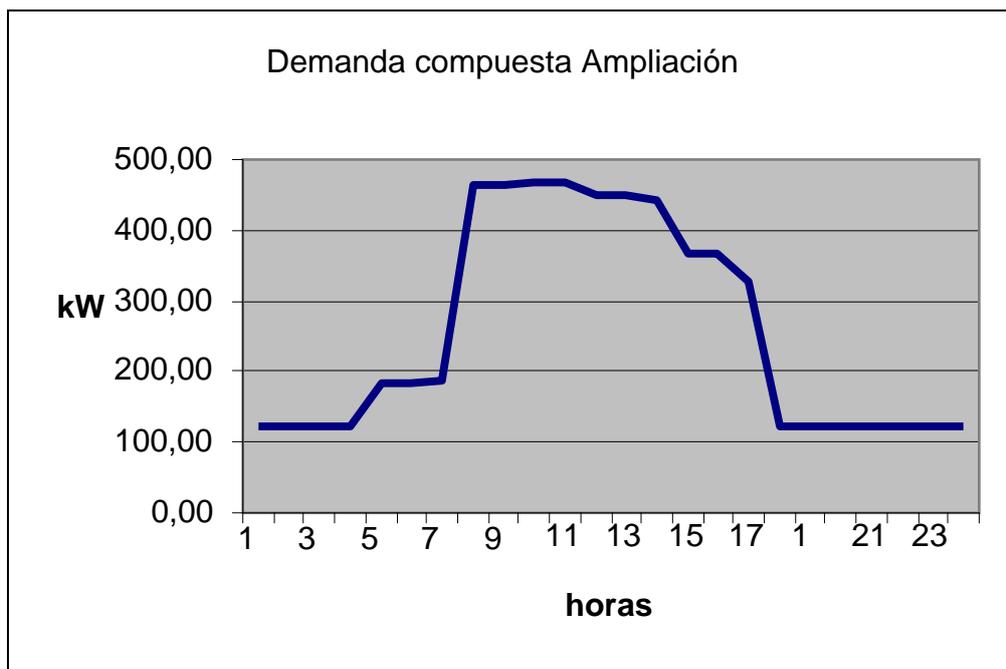
### Relación de la carga, Ampliación.



**Figura 2. Relación de la carga en el sistema eléctrico Ampliación.**

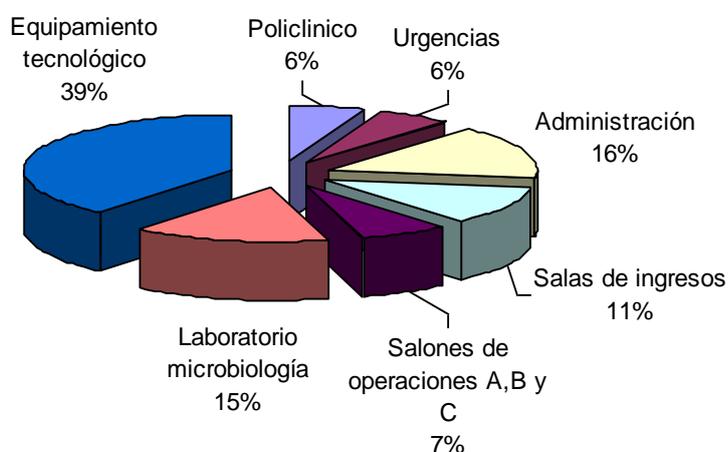
Al procesar la información obtenida del levantamiento, se construyó la curva de la demanda eléctrica, Figura 3, cuando el equipamiento se conecta en el horario de funcionamiento, para una potencia instalada de 520 kW y un Fp del 85%, la máxima demanda se encuentra entre las 9:00 a.m. y las 11:00 a.m. con un valor de 469 kW y un factor de demanda  $k_d=0,9$ ; y mínimos de 120 kW en horas de la madrugada y la noche. El equipamiento tecnológico al cual se encuentran asociado todos los equipos de climatización se encuentran distribuido en todas las áreas que componen el circuito de la ampliación ocupando un 39% de la carga instalada, las de mayor incidencia en las horas de mayor consumo son: Salas de ingresos, Oficinas y Laboratorio de microbiología, Figura 4.

Todo el equipamiento instalado con excepción del equipo de clima centralizado que da servicio al área de remodelación funcionan a un voltaje de 220 V y 120 V, por tal motivo fue preciso la instalación de 23 transformadores secos para obtener el voltaje necesario para la carga conectada. En su explotación el consumo por pérdidas al año son estimadas en 4 MWh.



**Figura 3. Demanda Compuesta Ampliación.**

#### Cargas por Área. Ampliación



**Figura 4. Distribución de la carga instalada. Ampliación**

#### 2. 4.3 Comportamiento diario de la carga

Se realizaron registros de todos los parámetros de la red entre los días 16 de julio y 22 de julio de 2009 y entre el 2 de septiembre y 4 septiembre de 2009. Se instaló el analizador de redes Fluke 435 en la salida de la SPR. En el primer período de medición coincidió la operación de los equipos centrales de clima, no siendo así en el segundo período. El análisis del comportamiento real de la carga se realizó con los registros del viernes 17 de julio de 2009, representativo respecto a otros días.

En este día se registraron consumos máximos de 427 kW, mínimos de 39 kW para un promedio de 152 kW. El período de mayor consumo, 280 kW medios, ocurre entre las 6 de la mañana y las 5 de la tarde, ocurriendo alrededor de las 11 horas el pico energía consumida, en este horario se produce de forma continua la entrada y salida de cargas puntuales que inciden directamente en los procedimientos médicos característicos de la institución, Figura 5.

Si comparamos la curva de demanda real con la obtenida por los datos del levantamiento, se concluye que el comportamiento previsto en la demanda compuesta coincide que el real pero en una proporción inferior, teniendo en cuenta que no siempre todo el equipamiento instalado no trabaja en el período que generalmente lo hace, Figura 6.

En horas de la madrugada se registran los más bajos valores de Fp, 71 %, máximos en horas de mayor consumo de 90%, y una media durante el día de 86%, Figura 7. Este comportamiento se debe a que en la horas de menor consumo energético se encuentran conectados cargas inductivas de bajo Fp como por ejemplo los transformadores secos en los diferentes centros de cargas, que por la cantidad, es representativo el consumo de energía reactiva. En horas de mayor consumo eléctrico, otras cargas más eficientes son conectadas elevando el Fp. De forma general el Fp se mantiene por debajo de los límites de penalización regulados por la empresa suministradora (Ver anexo 5)

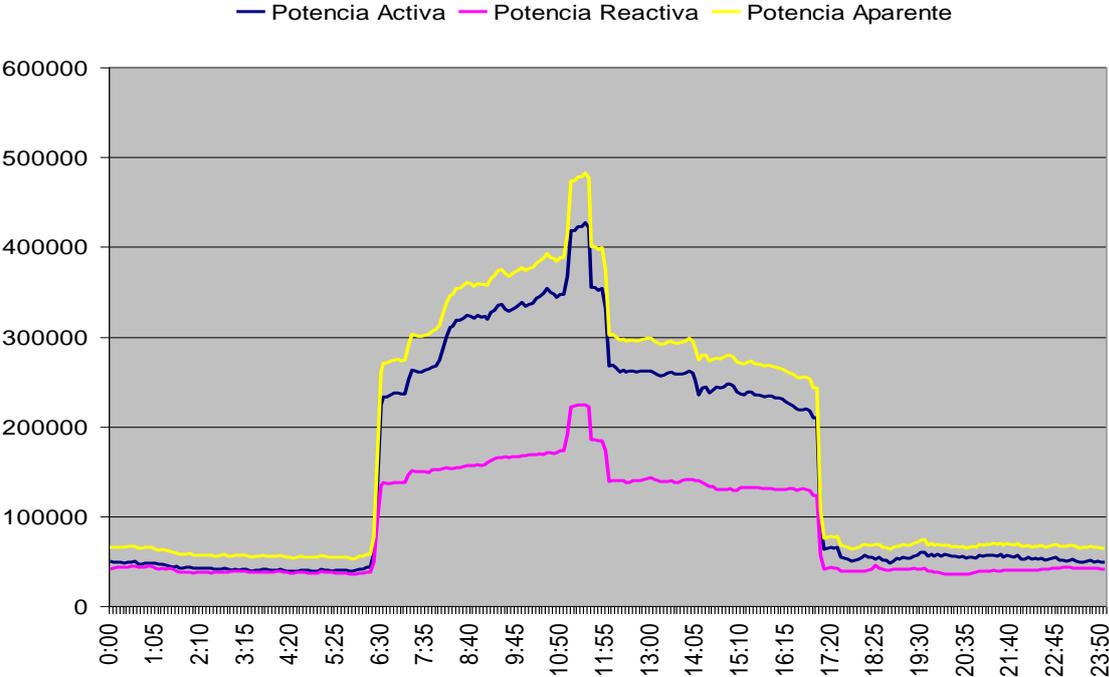
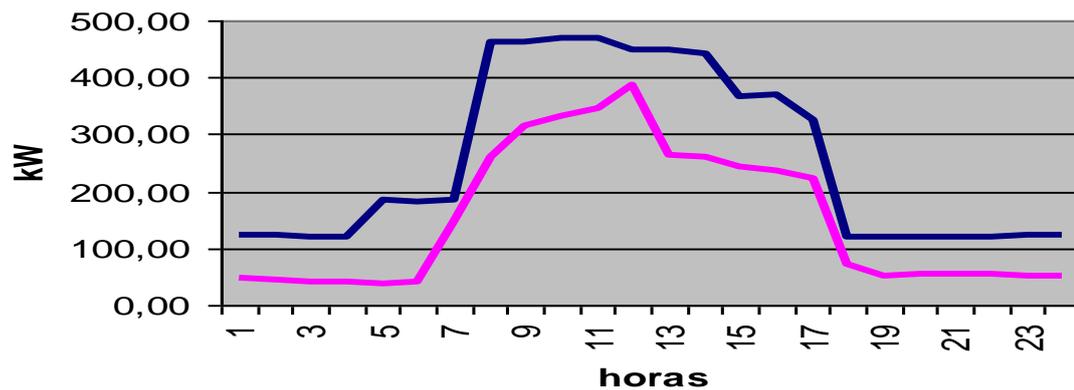
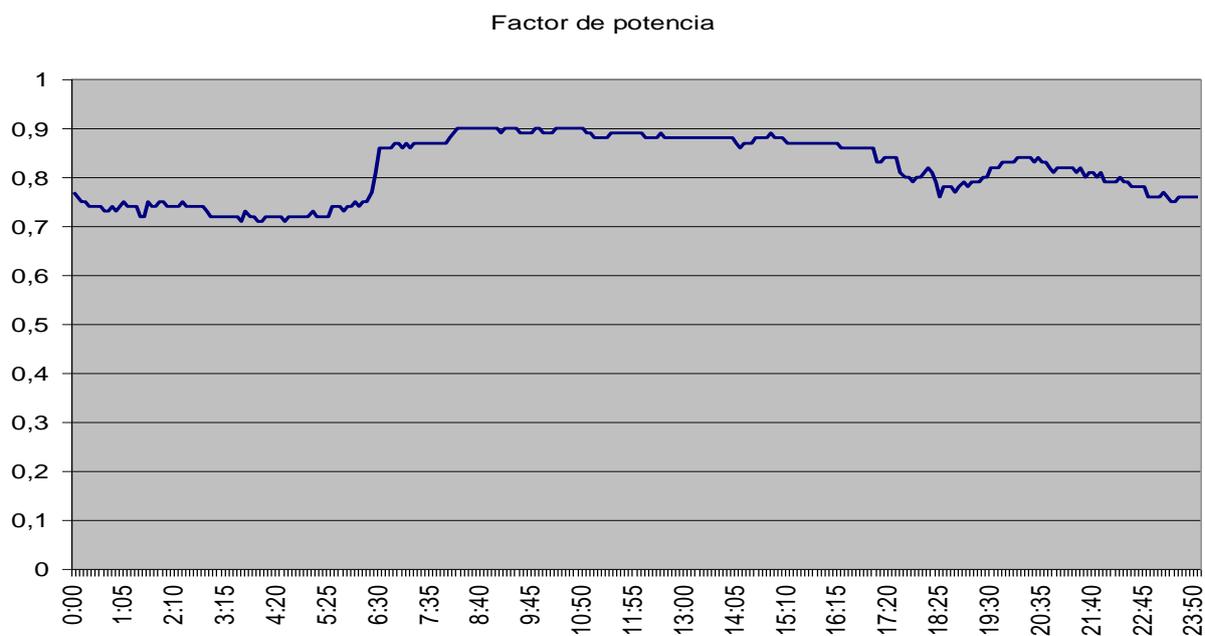


Figura 5. Comportamiento de la carga en el día característico. Ampliación.

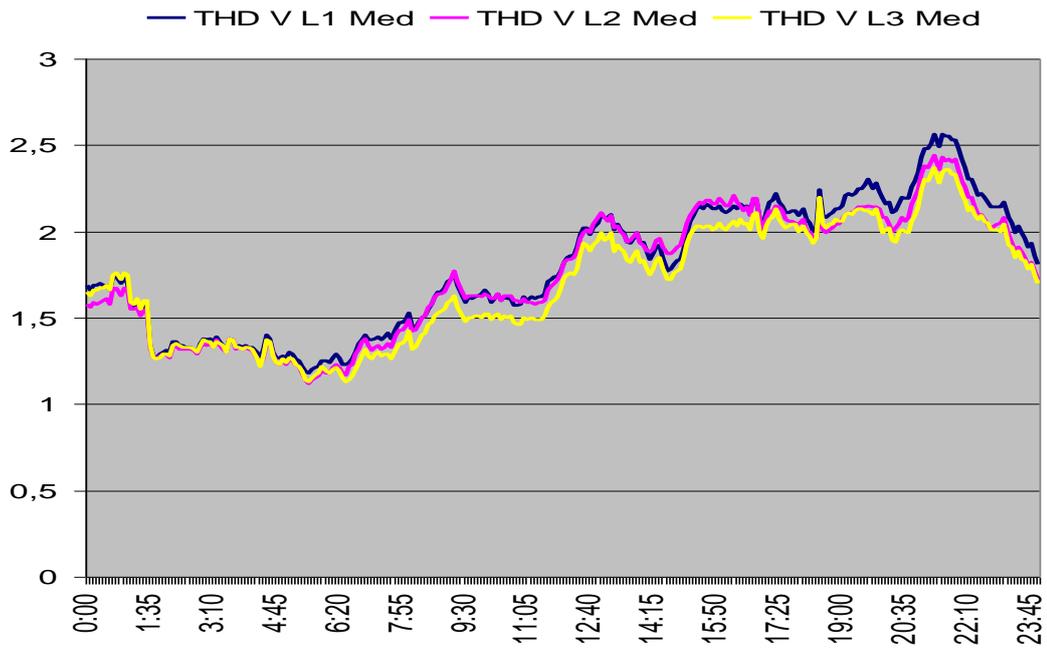


— Demanda compuesta Ampliación — día característico

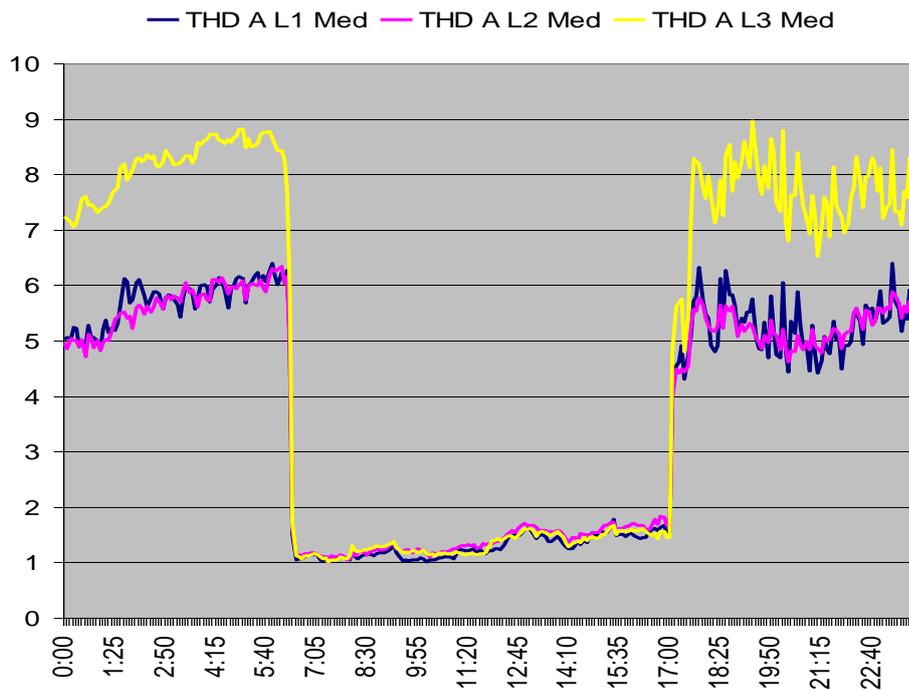
**Figura 6. Comportamiento de la carga en el día característico, 16-07-2009 y la estimada de acuerdo al equipamiento instalado. Ampliación.**



**Figura 7. Factor de potencia en el día característico, 16-07-2009. Ampliación.**



**Figura 8. Distorsión de armónicos en la onda de tensión.**



**Figura 9. Distorsión de armónicos en la onda de corriente.**

En las Figuras 8 y 9 se muestra el comportamiento de la tasa de distorsión de armónicos en las ondas de tensión como de corriente, se obtienen máximos de  $THD_u=2,5\%$  y  $THD_i=8\%$  respectivamente, valores dentro de los límites admisibles sin riesgos de funcionamiento incorrecto del equipamiento conectado. Gráficamente se muestra su variación en las diferentes horas del día, los mayores valores de distorsión en la onda de

corriente aparecen en las horas donde todo el alumbrado general se encuentra en funcionamiento, este equipamiento cuenta con balastos electrónicos, constituyendo fuentes contaminante de armónicos.

#### **2.4.4 Estado técnico de las instalaciones eléctricas**

Tras recorrer la instalación, se realiza un estudio del cableado y la protección eléctrica, comenzando por el origen de la instalación, pasando por los circuitos intermedios y terminando por los circuitos finales.

El cableado y su protección en cada nivel deben cumplir varias condiciones simultáneamente, para garantizar una instalación segura y fiable, es decir, deben:

- Llevar la corriente a plena carga permanente y las sobreintensidades normales de corta duración.
- No provocar caídas de tensión que pudieran perjudicar el rendimiento de ciertas cargas, por ejemplo: un período de aceleración demasiado largo al arrancar un motor, etc.

Así mismo, los dispositivos de protección (interruptores automáticos o fusibles) deben:

- Proteger el cableado y las barras conductoras para cualquier nivel de sobreintensidad, hasta las corrientes de cortocircuito (inclusive).
- Garantizar la protección de personas contra el riesgo de contacto indirecto, sobre todo en los sistemas con puesta a tierra TN e IT, donde la longitud de los circuitos puede limitar la magnitud de las corrientes de cortocircuito y en consecuencia retrasar la desconexión automática (recuerde que las instalaciones con puesta a tierra TT están protegidas obligatoriamente en el origen con un DDR, que en general se regulan a una sensibilidad de 300 mA).

La potencia instalada en este esquema eléctrico es de 1260 kVA, solo se emplea el 34 %. De acuerdo con la potencia instalada y el factor de demanda de la instalación, con un transformador es suficiente para que toda la carga opere sin sobrecarga alguna. Si se desconectase un transformador se obtiene por ahorro en pérdidas de transformación 7200 kWh/año y se disminuye el nivel de cortocircuito en las barras de la PGD a 15 kA.

La instalación eléctrica donde se conectan en paralelo estos transformadores en la SPR, resulta insegura para el personal autorizado en la entrada del local y poco fiable debido a encontrarse desprotegida ante contactos directos con las barras colectoras y utilizar materiales aislantes no recomendados, como madera, en la soportaría de las barras.

La PGD no cuenta con el adecuado grado de protección, existiendo cubiertas del envolvente sin instalar. Existe gran suciedad en las distintas partes que integran el cuadro como barras e interruptores, no cuenta con instrumentos de medidas eléctricas, existen interruptores dañados, con conexiones flojas que crean puntos calientes. Otros cuadros de distribución también se encuentran en mal estado, al igual que los disyuntores que protegen los circuitos, como es el caso de los cuadros de equipos de clima central. En los transferenciales manual y automático se detectaron elevación de temperatura en su interior procedente de los conductores, superior a 60°C. Resulta preciso la revisión de las posibles causas de este aumento de temperatura en estos tramos de cables como sobrecarga y problemas en el apriete del terminal al extremo del cable.

La práctica de la medicina moderna exige la introducción de toda una gama de equipamiento técnico cada vez más sofisticado, destinado a la monitorización, diagnóstico y terapia de los pacientes. El término "electromedicina" incluye al conjunto de estas actividades, realizadas mediante dispositivos electrónicos y electromecánicos, tales como monitores de electrocardiograma, aparatos de rayos X o desfibriladores. Unidos a los indudables beneficios que aportan estas tecnologías, aparece una serie de riesgos a los cuales se exponen los pacientes y el personal sanitario. Uno de estos riesgos viene originado por la posibilidad de descargas eléctricas originadas en una deficiente puesta a tierra de los equipos.

Las puestas a tierra se establecen con objeto, principalmente, de limitar la tensión que con respecto a tierra puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado. Consisten en uniones metálicas directas entre determinados elementos de una instalación y uno o más electrodos enterrados en el suelo con el fin de permitir el paso de las corrientes de defecto y garantizar la actuación de los elementos de protección. El esquema de conexión de tierra utilizado en el sistema en análisis es el TN-C, esquema no permitido en locales médicos (destinados a propósitos de diagnóstico, tratamiento, monitoreo y cuidado de pacientes) y edificios médicos especificado en el epígrafe 710.312.2 de la norma obligatoria NC IEC 60364-4-710:2005. Es recomendado el esquema TN-S donde se utilizarán dispositivos de corriente residual con operación máxima de 30 mA en circuitos terminales del grupo 1 (donde las partes del equipamiento eléctrico entra en contacto con el paciente externamente e invasivamente para cualquier parte del cuerpo) y en locales médicos del grupo 2 (donde las partes del equipamiento médico que entra en contacto con el paciente se destinan a procedimientos

intra cardíacos, salones de operación, terapia intensiva, intermedia donde la discontinuidad del suministro eléctrico pueda provocar daños para la vida) en circuitos para unidades de rayos X, suministro de mesas de operaciones, equipos que superen los 5 kVA y equipos no críticos. En los locales médicos del grupo 2 se utilizará el sistema IT para circuitos que suministran a sistema y equipos médicos destinados al apoyo vital, aplicaciones quirúrgicas y otros equipos eléctricos ubicados en el entorno del paciente.

#### **Violaciones detectadas durante el levantamiento.**

- Se detectaron dentro de los salones de operación tomacorrientes polarizados con la inversión entre neutro y fase y otras tomas sin polaridad.
- No existe el sistema IT recomendados para alimentar los equipos eléctricos vitales.
- No existe la instalación de protección de corriente residual, disminuyendo de forma significativa la seguridad de los pacientes sujetos a los equipos médicos eléctricos.
- La longitud de muchos de los circuitos eléctricos y la sección de los conductores hace que no llegue a los terminales de los receptores el voltaje adecuado apareciendo caídas superiores a las normadas según NC 365:2004, encontrándose esto con frecuencia en los equipos de clima.

#### **2.4.5 Calidad de la energía**

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 subvaloran el impacto que puede tener una calidad eléctrica deficiente en sus instalaciones, 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 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.

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.

Teniendo en cuenta las mediciones de campo realizadas puede expresarse que los parámetros de calidad de la energía se comportan favorables: fluctuación, frecuencia, simetría, tensión armónica, bajadas, subidas y cambios rápidos de tensión y desfavorables: interrupciones y parpadeo o flicker.

Por lo que queda demostrado que el bajo Fp determina el deterioro de la Eficiencia energética en el circuito de ampliación y a continuación se propone el modo de resolver esta situación.

#### **2.4.6 Solución propuesta. Corrección del factor de potencia central**

La corrección del Fp central o compensación centralizada en el circuito de ampliación ofrece una solución generalizada para corregir el Fp ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

Con la instalación de un banco de capacitores en operación automática en el Cuadro General de Distribución con dimensiones de potencia instalada adecuadas se logra corregir el Fp a valores que se eliminan las penalizaciones y puede comenzar las bonificaciones en las futuras facturas eléctricas.

La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el Fp previamente programado en dicho regulador.

La compensación centralizada presenta las siguientes ventajas:

- Mejor utilización de los bancos de capacitores.
- Se tiene una mejora en la regulación del voltaje en el sistema eléctrico.
- Suministro de potencia reactiva según los requerimientos del momento.
- Es de fácil supervisión.

La desventaja de corregir el Fp mediante la compensación centralizada, es que las diversas líneas de distribución no son descargadas de la potencia reactiva, además se requiere de un regulador automático en el banco de capacitores para compensar la potencia reactiva, según las necesidades del momento.

En horas de la madrugada y la noche donde el factor de potencia es de 75%, el consumo registrado media los 50 kW y en horas del día la potencia activa media de 280 kW con un Factor de potencia de 86 %. En los intervalos de mayor demanda la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia de forma centralizada de la instalación se puede calcular partiendo de la siguiente expresión:

Para el día:

$$Q = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$\text{Si } P = 280 \text{ kW; Fp inicial} = 0,86; \text{ Fp objetivo} = 0,98$$

$$Q = 280 \times (0,39)$$

$$\mathbf{Q = 109,2 \text{ kVAr}}$$

Para la noche y madrugada:

$$\text{Si } P = 50 \text{ kW; Fp inicial} = 0,75; \text{ Fp objetivo} = 0,98$$

$$Q = 50 (4 \tan 1,4 - \tan 11,47)$$

$$Q = 50 (0,88 - 0,20)$$

$$\mathbf{Q = 34 \text{ kVAr}}$$

Se recomienda fabricar e instalar un banco de capacidad nominal de 185 KVAR capacitivo totalmente automático de forma tal que compense el consumo de energía reactiva y logre valores del factor de potencia cercanos a 0,98. Se utilizará como envolvente un cubículo del Sistema Funcional Prisma Plus de Schneider Electric con dimensiones 650x600x2000 y ventilación forzada. Preparado para conectar a un sistema trifásico 480 V, 60 Hz y un THDv menor al 3%.

El mismo estará formado por 4 pasos de capacitores con una regulación física 1.2.2.2, es decir las capacidades serán de 35 kVAr, 50 kVAr, 50 kVAr, 50 kVAr, sobredimensionado en tensión a 550V. Los capacitores recomendados tienen las siguientes características:

**Frecuencia:** 60 Hz.

Sistema de seguridad HQ en cada elemento monofásico (fusible interno + membrana sobrepresión).

**Tolerancia sobre el valor de la capacidad:** -5, +10 %.

**Nivel de aislamiento:** Resistencia a 60 Hz 1 minuto: 4 kV.

**Resistencia a onda de choque 1,2/50  $\mu$ s:** 12 kV.

**Máximas sobrecargas admisibles a tensión servicio de red según UNE-EN 60831-1-2:**

Corriente: 30 % en permanencia.

Tensión: 10 % (8 horas sobre 24 horas).

**Resistencia interna de descarga incorporada:** inferior 50 V en 1 minuto.

**Pérdidas:** inferiores a 0,5 W/kVAr.

**Clase de temperatura D (+55 °C):**

Máximo: 55 °C.

Media sobre 24 horas: 45 °C.

Media sobre 1 año: 35 °C.

Mínima: -25 °C.

**Color:** Condensadores: RAL 9005. Zócalo y cubrebornes: RAL 7030.

**Normativa:**

UNE-EN 60831-1-2.

CSA 22-2 n.º 190.

UL 810.

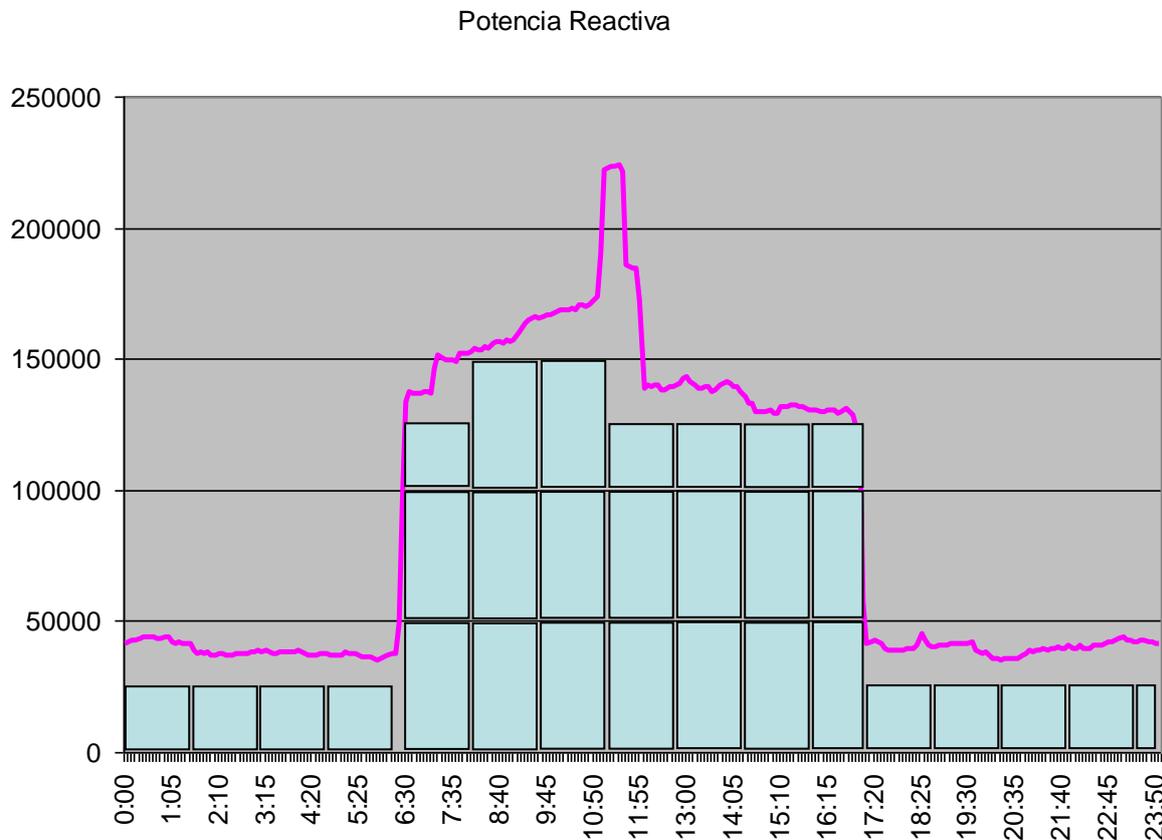
Servicio interior.

**Índice de protección:** IP00 sin cubrebornes. IP20 o IP42 con cubrebornes.

**Instalación**

Se pueden instalar en cualquier posición, excepto en posición vertical y con los bornes hacia abajo. Fijación mediante tornillos/tuercas de M6.

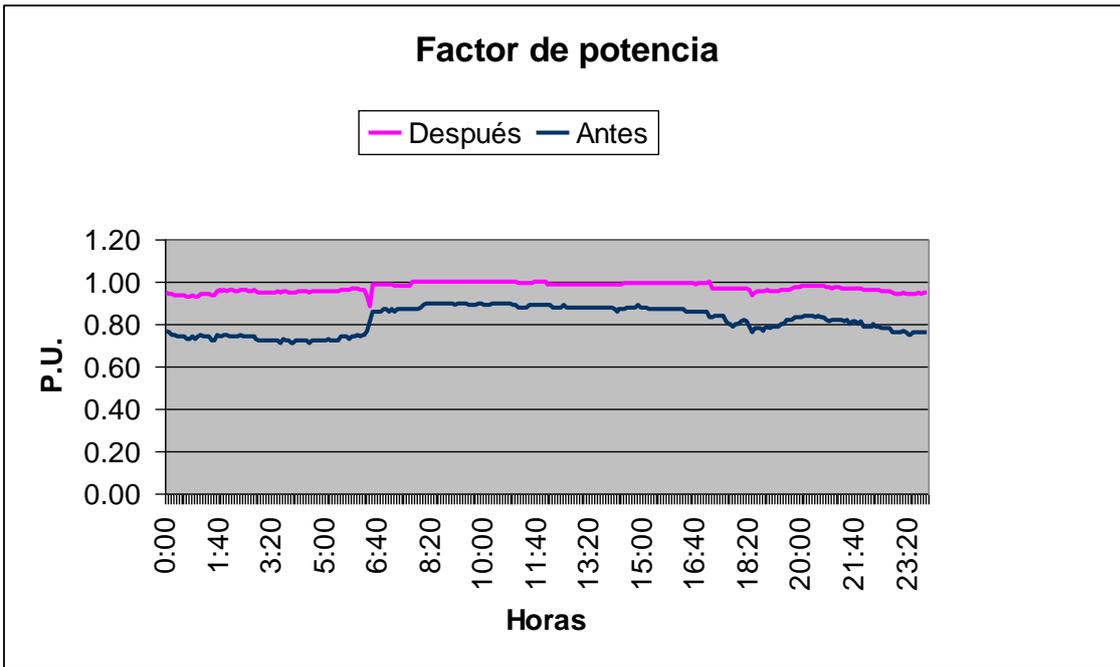
A continuación se simula en Excel cómo quedará la compensación de la energía reactiva que demuestra la validez del banco propuesto.



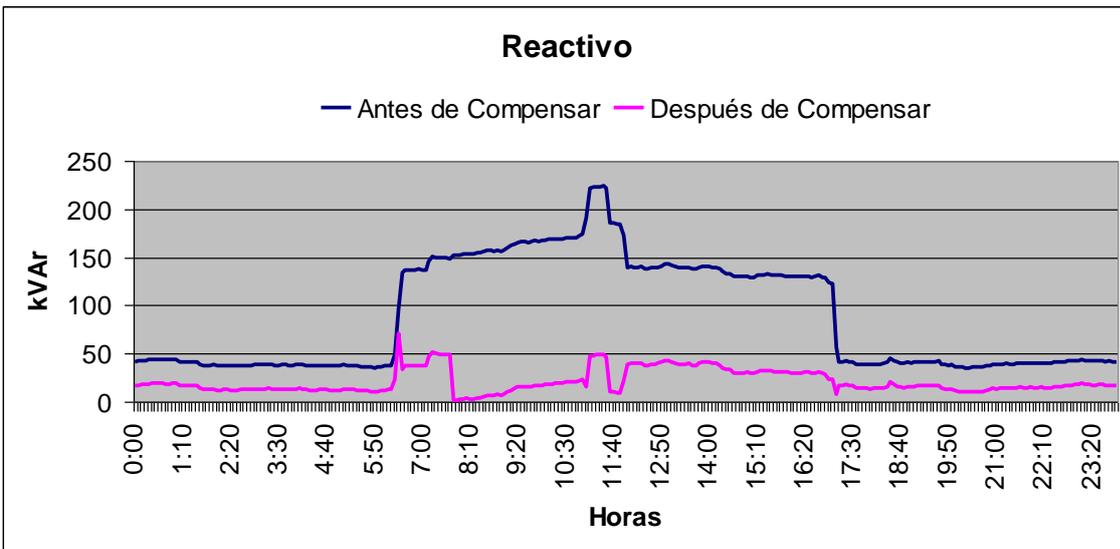
**Figura 10. Comportamiento de la energía reactiva durante un día característico y cantidad de pasos de capacitores posibles a conectar para la compensación centralizada del factor de potencia.**

Teniendo en cuenta que el nivel de la Distorsión de Armónicos de tensión supera 1,5% la compensación de la energía reactiva a través del uso del banco de capacitores implica una amplificación del nivel de armónicos presente en la instalación, para este caso la solución que se propone es el uso de baterías sobredimensionadas en tensión y filtros de rechazo sintonizados a la frecuencia de resonancia, estos equipo son conjuntos L-C sintonizados a la frecuencia de resonancia y provocan el desplazamiento de la frecuencia de resonancia paralelo fuera del espectro armónico evitando de esta manera la amplificación.

A través del simulador se muestra de forma comparativa la compensación del Fp y la energía reactiva (Ver Anexo 6).



**Figura 11: Comportamiento del factor de potencia antes y después de la compensación.**



**Figura 12: Comportamiento de la energía reactiva del sistema antes y después de la compensación**

### 2.4.7 Valoración económica

La tabla muestra de forma comparativa los valores en \$ de los importes antes y después de la compensación del Fp por el banco de capacitores.

Tabla No 4: Importes antes y después de la compensación del Fp con la instalación del banco de capacitores

Fecha	Consumo en el día(\$)	Consumo en el pico(\$)	Consumo por pérdida (\$)	Penal Fp \$	Importe (\$) (antes de la comp)	Fp	Importe (\$) (después de la comp)	Ahorro por corrección del Fp(\$)
1/12/09	8266.94	4043	257.28	1521.36	13692.22	81.0	13121.71	2091.87
1/11/09	13808.06	6224.2	376.61	1816.11	21533.87	83.0	20636.63	2713.35
1/10/09	7882.56	3476.7	235.14	748.2	12719.4	85.0	12189.43	1278.18
1/09/09	11016.35	4802.98	291.08	801.65	17235.41	86.0	16517.27	1519.79
1/08/09	10040.99	4148.76	271.02	537.44	15585.77	87.0	14936.36	1186.85
1/07/09	10329.43	4684.93	267.26	372.88	16406.62	88.0	15723.01	1056.49
1/06/09	10764.65	4122.94	275.42	561.66	16288.01	87.0	15609.34	1240.33
1/05/09	8005.67	3076.25	234.94	888.7	12441.86	84.0	11923.45	1407.11
1/04/09	3148.73	1356.18	200.02	896.91	5829.93	78.0	5587.02	1139.82
1/03/09	3076	1324.86	197.6	4789.02	5723.46	49.0	5484.98	5027.50
1/02/09	2488.98	1021.92	190.64	0	4826.54	90.0	4625.43	201.11
Total	96674.3	42187.45	3053.17	14575.41	155414.9		148939.3	21051.03

Fuente: análisis realizado con la facturación correspondiente al año 2009

Las penalizaciones por bajo Fp fueron de \$14 575,41, si en ese año se hubiese corregido el Fp se obtendrían ahorros monetarios de \$21 051,03. De ello \$14 575,41 por la eliminación de las penalizaciones y \$14 839,3 por las bonificaciones al elevar este a 0,96. Si los consumos en los próximos años fueran parecidos a los del año analizado se puede decir que estos beneficios pudieran obtenerse aproximadamente, si se eleva el Fp a 0,96. Al evaluar el costo total del banco de capacitores incluyendo montaje y puesta en marcha del mismo, su valor es amortizado antes los 9 meses con la eliminación de las penalizaciones. A partir de este período el banco logrará beneficios adicionales al año por bonificaciones hasta el fin de la vida útil de este equipamiento.

### 2.4.8 Ahorro Energético

Partiendo de que las pérdidas en los cables son reducidas a:

$$I_2^2/I_1^2 \quad (2.1)$$

**I<sub>2</sub>** (corriente después de compensar)

**I<sub>1</sub>** (corriente antes de compensar)

Y en los circuitos trifásicos  $P = \sqrt{3}RI^2$

(2.2)

Se puede determinar la energía ahorrada cuando se compensa debido al paso de una menor corriente por los conductores.

Con los datos del trabajo se tiene >

$P = 280 \text{ kW}$

$FP_{\text{antes}} = 0,86$

$FP_{\text{después}} = 0,98$

$I_1 = 678,3 \text{ A}$

$I_2 = 595,2 \text{ A}$

$R_{\text{cable}} = 0,02083 \ \Omega$  (52 m alimentador 2x240 mm<sup>2</sup>)

$P_1 = \sqrt{3} \times 0,02083 \times 678,3^2 = 16599 \text{ W}$

$P_2 = \sqrt{3} \times 0,02083 \times 595,2^2 = 12781 \text{ W}$

$P_{\text{ahorrada}} = P_1 - P_2 = 3818 \text{ W}$

Al año es de 33,4 MWh



# ***CONCLUSIONES***

MEJORA DE LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA DEL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.

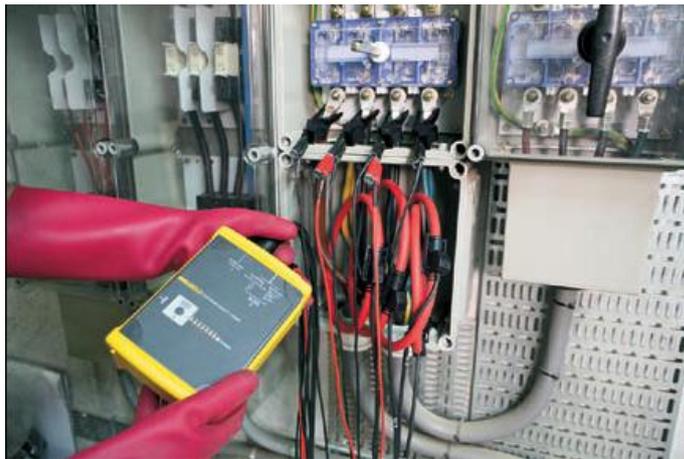
## CONCLUSIONES

1 Se identifica como principal problema que deteriora la eficiencia energética el comportamiento del Factor de potencia, el mismo evalúa el uso efectivo de los equipos de las instalaciones eléctricas y su importancia consiste en obtener un incremento racional de este hacia la solución de los problemas generales de la economía de la electricidad.

2 Dentro de la revisión bibliográfica acerca del tema se localizo como herramienta el Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía, elaborada por el Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos, que sirvió de gran utilidad para realizar el estudio de Eficiencia electroenergética en el circuito de la ampliación del Hospital Pediátrico de Holguín, por ser esta la más conveniente con la situación energética actual.

3 El bajo Factor de potencia está relacionado con la gran cantidad de motores eléctricos instalados en la institución y la gran variedad de luminarias requeridas por las exigencias de diseño en unidades hospitalarias, cada uno de estos provocan el aumento de la energía reactiva la cual actúa de forma negativa en el comportamiento del Factor de potencia.

4 El montaje de un banco de capacitores en operación automática en el cuadro general de distribución, de capacidad nominal de 185 KVAR, elevará el Factor de potencia a 0,96 que garantiza un ahorro de 33,4 MWh al año por disminución del consumo de energía y en valores de \$ 21051,03.



# ***RECOMENDACIONES***

MEJORA DE LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA DEL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar análisis similar en el circuito remodelación del Hospital Pediátrico Provincial de Holguín y corregir otros factores que inciden en la baja Eficiencia electroenergética en el hospital.
2. Continuar el proceso de implantación de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en Hospitales Pediátricos.
3. Vincular el trabajo Universidad-Hospital en la gestión de calidad en el consumo de energía para contribuir al incremento de la Eficiencia energética de estas instalaciones.



# ***BIBLIOGRAFÍA***

MEJORA DE LA EFICIENCIA ELECTROENERGÉTICA DEL CIRCUITO DE LA AMPLIACIÓN DEL HOSPITAL PEDIÁTRICO DE HOLGUÍN.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Castro, Fidel “Comparecencia televisiva sobre Revolución Energética”. Tabloide especial enero 2006
- 2- Chapman,S.J. “Máquinas eléctricas”.McGraw-Hill,México D.F.,1998.
- 3- Colectivo de autores CEEMA Redacción General: Nordelo Borroto Aníbal E Dr; Yanes Monteagudo; José P Dr. Universidad de Cienfuegos, Gestión y Economía energética. Ministerio de educación superior. Red de Eficiencia energética 2007
- 4- De Armas M.A . “Consideraciones sobre la calidad de la energía eléctrica en la provincia de Cienfuegos” Convención de la Ingeniería eléctrica FIE 2002, Santiago de Cuba, 2002
- 5- De Armas, M.A .” Calidad de la energía eléctrica al plan de ahorro de energía en Cuba”. Universidad de Cienfuegos, 2003
- 6- De Armas, M.A . “Material de Curso de Post Grado: Calidad de la energía” Universidad de Cienfuegos, 2003
- 7- De Armas,M.A . ”Curso breve en calidad de la energía eléctrica”, Instituto de Ingeniería Mexicali, México 2004
- 8- De Armas, Marcos A; Nordelo Borroto Anival; Pérez Acosta, Inocente.[www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia27/HTML/art0.7-](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia27/HTML/art0.7-) Centro de estudios de energía y medioambiente, Universidad de Cienfuegos. (consultado Marzo/08)
- 9- Feodorov, A.A .; Rodríguez, E. “Suministro eléctrico de empresas industriales”, Editorial pueblo y Educación”, La Habana ,1985
- 10-González, J.M. “Compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados con armónicos”. Tesis Doctoral, UCLV, Santa Clara, 2002
- 11- Hernández Hernández, Manuel J; Reinoso Tellez, Juana M. [www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energia32/HTLM/artículo\\_0,6.htm-17k-](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energia32/HTLM/artículo_0,6.htm-17k-) (consultado Marzo 2008)
- 12-Ruiz Hector Julio, Jornadas de utilización del equipamiento electromédico y áreas de salud. Lujan Agosto 2009
- 13- Maliuk Petrovna, Svetlana; Editorial Oriente, Santiago de Cuba, 1980. Factor de Potencia en la Producción.

- 14- Morejón, Roberto [http://www.rhe.cu/espacio/comentarios/junio2007/comentario6\\_junio.htm-10k](http://www.rhe.cu/espacio/comentarios/junio2007/comentario6_junio.htm-10k) (consultado mayo/2008)
- 15- Norma cubana obligatoria, NC IEC60364-4-710; 2005. Requisitos para instalaciones especiales o locales-locales médicos
- 16- Norma Comité electrotécnico Internacional. IEC61000 4-30. Técnicas de ensayo y medidas. Métodos de medidas de la calidad de energía
- 17- Padrón, A. DrC” Sistemas eléctricos industriales “. Universidad de Cienfuegos”.2000
- 18- Pérez Gómez, Marta M;  
[www.cubasolar.cu/biblioteca/energía27/HTML/art.0,7.htm.2007](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energía27/HTML/art.0,7.htm.2007). (consultado enero 2008)
- 19- Burgos García, Vicente; Profesor Técnico de F.P en Equipos Electrónicos. Eficiencia energética en hospitales, publicado por Vibuga el 13 Junio, 2009
- 20- Viego, Percy; Cárdenas,A. “Análisis económico de un proyecto para lograr ahorros mejorando el factor de potencia “ Mundo eléctrico Colombiano, Santa Fe de Bogotá, abril-Junio de 1998, Volumen. 12, No31. pág. 130
- 21- Viego, Percy” Material del curso: Ahorro de energía eléctrica en instalaciones industriales” Corporación universitaria autónoma de Occidente (CUAO), Cali, Colombia.1999
- 22- Viego, Percy DrC.;“Material del curso: Selección económica de componentes de los sistemas eléctricos industriales” Corporación universitaria autónoma de Occidente (CUAO), Cali, Colombia.1999
- 23- Viego, Percy DrC; Teyra de Armas, Marcos Dr; Padrón Padrón, Arturo MSc. Centro de estudio Energía y medio ambiente. Universidad e Cienfuegos, Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba. Ahorro de energía en sistemas de suministro eléctrico industrial, Cienfuegos 2002
- 24- Viego, Percy DrC y otros, “Temas especiales de sistemas eléctricos industriales” Centro de estudios de energía y medioambiente. CEEMA, Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez. 2006
- 25- Viego, Percy DrC; Teyra de Armas, Marcos DrC; Abril Pérez, Ignacio DrC; Padrón Padrón, Arturo DrC, Fernández Casas, Leonardo DrC. Centro de estudios de energía y medioambiente. CEEMA, Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez “Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales, 2007
- 26- Ahorro y uso racional de la energía. Medidas y sugerencias practicas. Comisión nacional de energía. Nov.1990

- 27- Anuario de tarifas. Ministerio de Finanzas y Precios. Gaceta Oficial 2006.
- 28- “Aspectos básicos del Factor de potencia orientados al ahorro de energía eléctrica”.FIDE. México D.F., 1992
- 29- “Control de la Demanda “. Módulos Tecnológicos. CONAE.  
<http://www.conae.gob.mx/programas/control/controldemanda.html>.2001
- 30- Guía técnica de la distribución eléctrica en baja tensión. Compensación de la energía reactiva, Schneider Electric, 2001
- 31-Guía de Aplicación de Calidad de Energía. Voltage Disturbances Standard EN 50160 Voltage Characteristics in Public Distribution Systems
- 32- LA Revolución Energética y la Energía Eléctrica. “Suplemento especial”. Editorial DOR. 2006
- 33- Revista científico – popular trimestral de CUBASOLAR No. 34 (Abril – Junio, 2006) ISSN 1028 – 9925 Pág 3
- 34- Revista científico – popular trimestral de CUBASOLAR No. 29 (Enero – Marzo, 2005) ISSN 1028 – 9925 Pág 18 – 21
- 35- SCHNEIDER ELECTRIC SA (Merlin Gerin) Art 70577. Junio 1999.BTT 9606 ES. América del sur
- 36- SCHNEIDER ELECTRIC (Merlin Gerin) Cuba Art 05-0. RCHMG04009. Distribución Energética. 2004/ 05
- 37- SCHNEIDER ELECTRIC SA (Merlin Gerin) Grenoble, 1995
- 38- SCHNEIDER ELECTRIC, Catalogue Distribution Basse Tension
- 39-“Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica”. CFE. Gerencia comercial.  
<http://www.cfe.gob.mx/gercom/control/tarif100.html>.2001(Consultado Diciembre 2008)
- 40-[www.monografias.uo.edu.cu](http://www.monografias.uo.edu.cu) (consultado Marzo/08)
- 41- [www.villa clara.cu/citma/sistema-ciencia/progrmas/territoriales/energía-18k-boletin el villaclareño](http://www.villa clara.cu/citma/sistema-ciencia/progrmas/territoriales/energía-18k-boletin_el_villaclareño) (consultado Mayo/09).
- 42- [http://es.wikipedia.org/wiki/Factor\\_de\\_potencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_potencia) (consultado junio 2009)

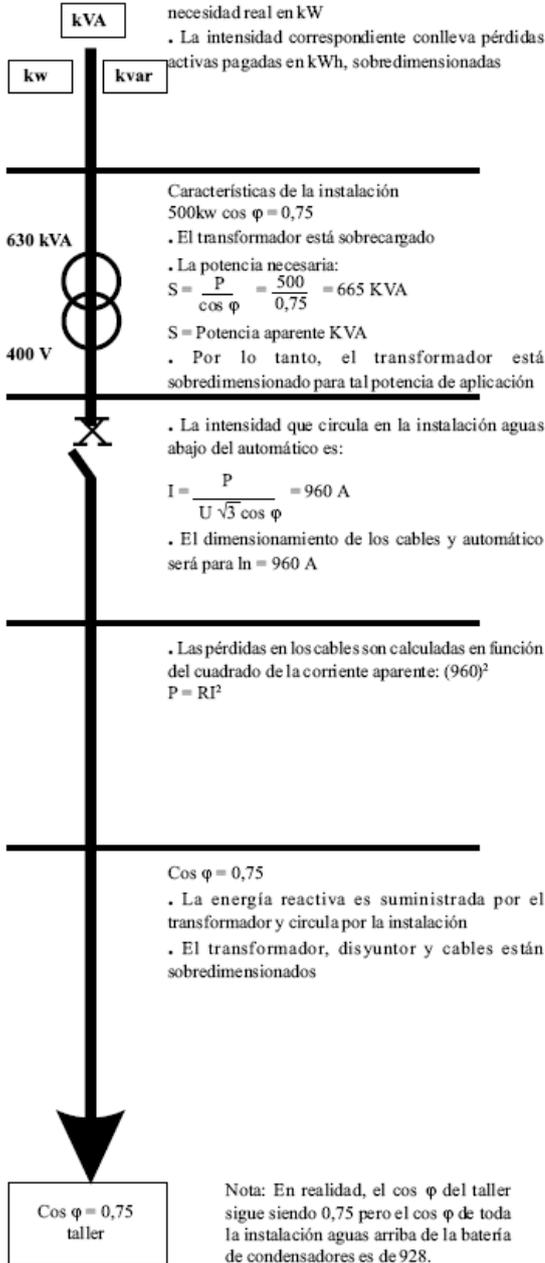
**ANEXOS**

# ANEXO 1. EJEMPLO DE UNA INSTALACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA.

## Instalación sin condensador

$$KVA = KW + KVAR$$

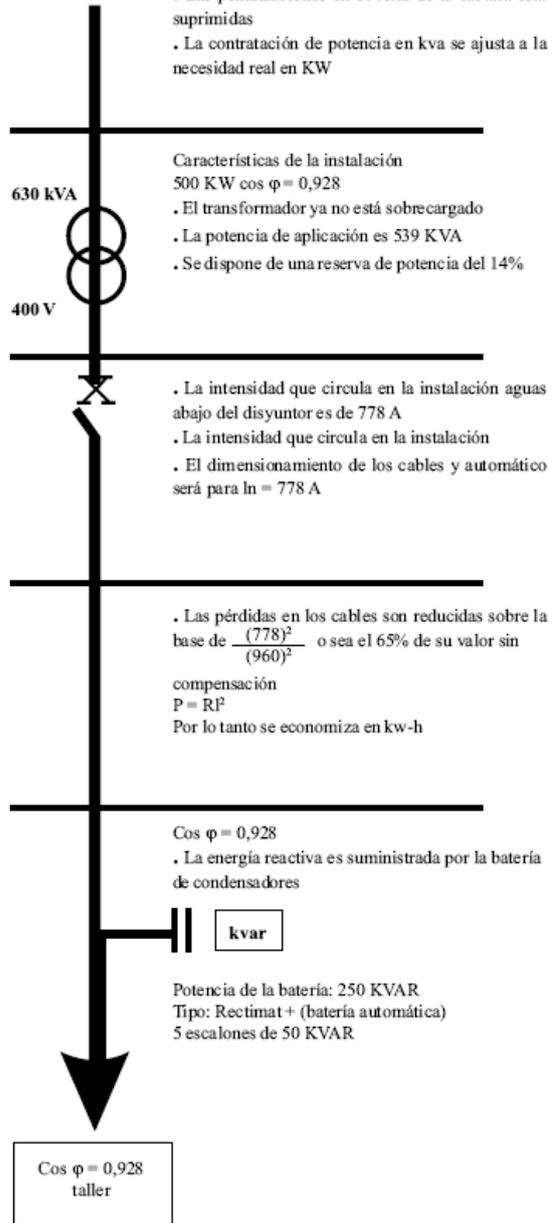
- Los kvar en exceso son facturados
- La potencia aplicada en kVA es superior a la necesidad real en kW
- La intensidad correspondiente conlleva pérdidas activas pagadas en kWh, sobredimensionadas



## Instalación con condensador

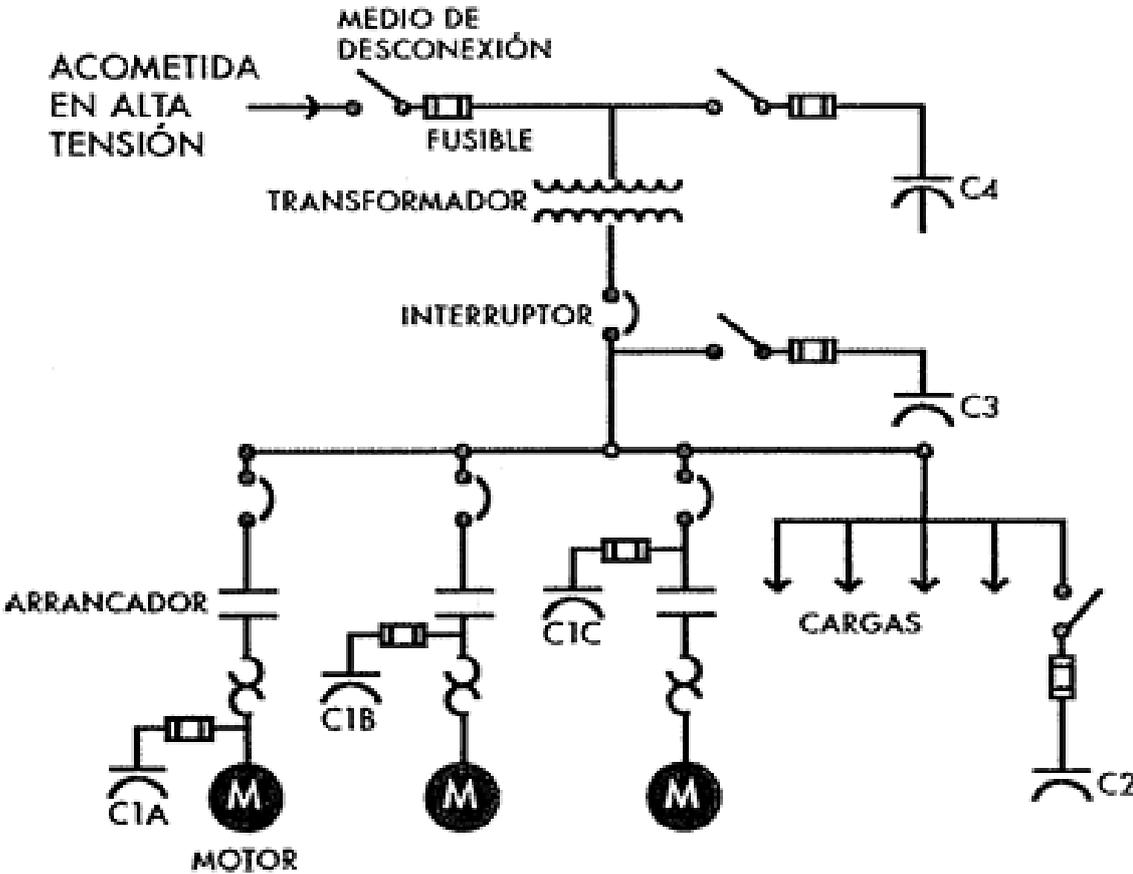
$$KVA = KW + KVAR$$

- El consumo en kvarh es suprimido o reducido según el cos φ deseado
- Las penalizaciones en el total de la factura está suprimidas
- La contratación de potencia en kva se ajusta a la necesidad real en KW



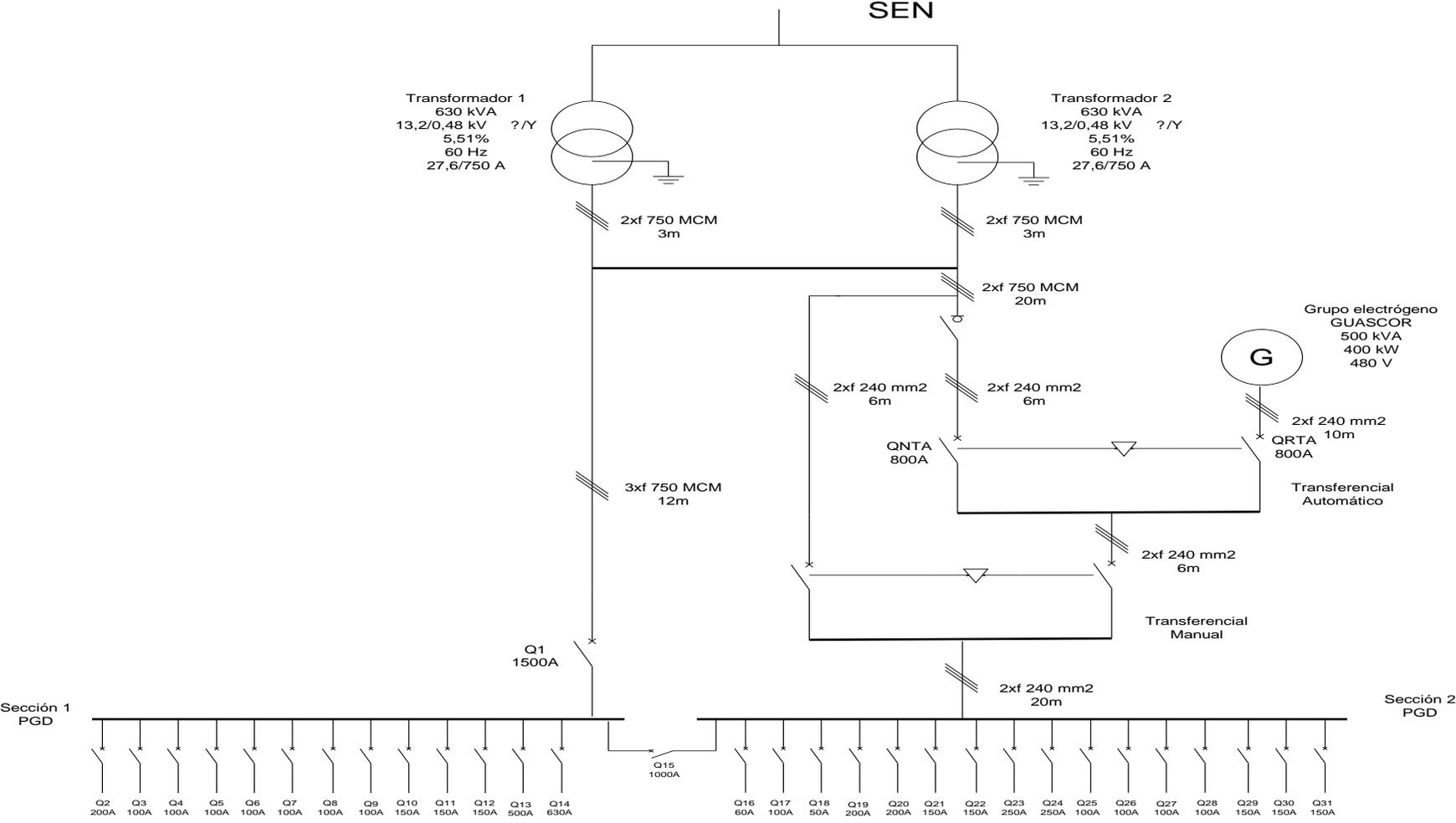
Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC (Merlin Gerin) Cuba Art 05-0. RCHMG04009. Distribución Energética. 2004/ 05

**ANEXO 2. DIAGRAMA DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DONDE SE MUESTRA LA LOCALIZACIÓN DE CAPACITORES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA**



Fuente: Colectivo de autores Viego, Percy DrC y otros. Ministerio de educación superior. Red de Eficiencia energética 2007.

# ANEXO 3: Diagrama eléctrico del circuito de la ampliación del Hospital Pediátrico de Holguín.



## ANEXO 4. LEVANTAMIENTO DE CARGAS POR ÁREAS DE TRABAJO

Equipos	cantidad	no. Fases	V	I	FP	P(W)	Horario
---------	----------	--------------	---	---	----	------	---------

### Ampliación

#### Atención al grave

luminaria 2x32	5	1	120	0.53	1	318	24 h
desfibrilador	1	1	220	0.5	1	110	ev

#### Consulta 4 Cuerpo de Guardia

luminaria 2x32	2	1	120	0.53	1	127	24 h
Aire Acondicionado 12000BTU	1	1	200	5.4	0.9	972	24 h
negatoscopio	1	1	120	0.3	0.7	25	ev
bombillo	1	1	120	0.5	1	60	ev

#### Consulta 3 Cuerpo de Guardia

luminaria 2x32	2	1	120	0.53	1	127	24 h
Aire Acondicionado 12000BTU	1	1	200	5.4	0.9	972	24 h
negatoscopio	1	1	120	0.3	0.7	25	24 h
bombillo	1	1	120	0.5	1	60	ev

#### Consulta 2 Cuerpo de Guardia

luminaria 2x32	2	1	120	0.53	1	127	24 h
ventilador	1	1	120	0.3	0.9	32	24 h
bombillo	1	1	120	0.5	1	60	ev

Equipos	cantidad	no. Fases	Datos eléctricos		FP	P(W)	Horario
			V	I			

#### 4 salas 3er piso

refrigerador	4	1	120	1.8	0.9	778	24 h
tv	4	1	120	0.5	1	240	24 h
luminaria 2x20	40	1	120	0.44	0.9	1901	24 h
luminaria 2x32	32	1	120	0.53	0.9	1832	24 h
pc	4	1	120	1.5	1	720	24 h

#### 4 salas 2do piso

refrigerador	4	1	120	1.8	0.9	778	24 h
tv	4	1	120	0.5	1	240	24 h
luminaria 2x20	40	1	120	0.44	0.9	1901	24 h
luminaria 2x32	32	1	120	0.53	1	2035	24 h
pc	4	1	120	1.5	1	720	24 h

**Somatón**

Equipamiento médico de resonancia magnética	1	3	223	4.6	0.83	1475	8-5 pm
---	---	---	-----	-----	------	------	--------

**Salón de operaciones****Salón C**

monitor	1	1	117	0.8	1	94	8-4pm
monitor	1	1	117	0.2	1	23	8-4pm
electrocoagulador	2	1	117	1.6	1	374	8-4pm
luminaria quirofano	1	1	117	2.2	1	257	8-4pm
luminaria de emergencia	1	1	117	0.8	1	94	8-4pm
luminaria 2x40	11	1	117	0.88	0.9	1019	8-4pm
luminaria 2x32	2	1	117	0.53	1	124	8-4pm
Split	1	1	210	12.7	0.8	2134	8-4pm
luminarias ultravioletas	3	1	117	0.5	1	176	4pm-8 am

**sterilización C**

luminaria 2x40	2	1	117	0.88	0.9	185	8-5 pm
luminaria 2x20	2	1	117	0.44	0.9	93	8-5 pm

**Preoperatorio**

luminaria 1x40	1	1	117	0.88	0.9	93	8-5 pm
----------------	---	---	-----	------	-----	----	--------

**Recuperación**

luminaria 2x40	8	1	117	0.88	0.9	741	8-5 pm
Split	1	1	210	12.6	0.8	2117	8-5 pm
equipo sistema torniquete	1	1	117	1	1	117	8-5 pm

**Substerilización B**

luminaria 2x40	2	1	117	0.88	0.9	185	8-5 pm
----------------	---	---	-----	------	-----	-----	--------

**Salón B**

luminaria quirofano	1	1	117	3.35	1	392	8-5 pm
monitor	2	1	117	0.9	1	211	8-5 pm
monitor	1	1	117	0.2	1	23	8-5 pm
Split	1	1	205	12.6	0.8	2066	8-5 pm
luminaria de emergencia	1	1	117	1	1	117	8-5 pm
luminarias 2x40	10	1	117	0.88	0.9	927	8-5 pm

**POTENCIA INSTALADA AMPLIACIÓN 521073**

Fuente: Estudio Eléctrico. Empresa de Automatización Integral, Noviembre de 2009.

**ANEXO 5.COMPORTAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA EN UN DÍA CARACTERÍSTICO.**

Fecha	Hora	Factor de	Factor de	Factor de									
		Potencia L1 Min	Potencia L1 Med	Potencia L1 Max	Potencia L2 Min	Potencia L2 Med	Potencia L2 Max	Potencia L3 Min	Potencia L3 Med	Potencia L3 Max	Potencia Total Min	Potencia Total Med	Potencia Total Max
16/07/2009	10:20:03 525ms	0.89	0.9	0.91	0.88	0.89	0.9	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	10:25:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.9	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	10:30:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.9	0.9	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	10:35:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.9	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	10:40:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.89	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	10:45:03 525ms	0.9	0.91	0.92	0.89	0.9	0.9	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	10:50:03 525ms	0.91	0.91	0.92	0.9	0.9	0.9	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	10:55:03 525ms	0.9	0.91	0.92	0.89	0.9	0.9	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	11:00:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.89	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	11:05:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.89	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	11:10:03 525ms	0.9	0.91	0.91	0.89	0.89	0.9	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	11:15:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.91	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	11:20:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.89	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	11:25:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.89	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	11:30:03 525ms	0.9	0.91	0.92	0.89	0.89	0.9	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.9
16/07/2009	11:35:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	11:40:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	11:45:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.9	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	11:50:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89
16/07/2009	11:55:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.89	0.89	0.89	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	12:00:03 525ms	0.89	0.9	0.9	0.88	0.89	0.89	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	12:05:03 525ms	0.89	0.9	0.9	0.89	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	12:10:03 525ms	0.89	0.9	0.91	0.88	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	12:15:03 525ms	0.89	0.9	0.91	0.88	0.89	0.89	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89
16/07/2009	12:20:03 525ms	0.89	0.9	0.9	0.88	0.88	0.89	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89
16/07/2009	12:25:03 525ms	0.89	0.9	0.9	0.88	0.88	0.89	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89
16/07/2009	12:30:03 525ms	0.88	0.9	0.91	0.87	0.88	0.89	0.86	0.87	0.88	0.87	0.88	0.89
16/07/2009	12:35:03 525ms	0.9	0.9	0.91	0.88	0.88	0.89	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89
16/07/2009	12:40:03 525ms	0.89	0.9	0.9	0.88	0.88	0.89	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89

16/07/2009	12:45:03	525ms	0.89	0.9	0.9	0.87	0.88	0.88	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89
16/07/2009	12:50:03	525ms	0.88	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.87	0.88	0.89	0.88	0.88	
16/07/2009	12:55:03	525ms	0.88	0.89	0.89	0.87	0.87	0.88	0.87	0.88	0.89	0.88	0.88	0.88
16/07/2009	13:00:03	525ms	0.88	0.89	0.9	0.87	0.87	0.88	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
16/07/2009	13:05:03	525ms	0	0.78	0.89	0.01	0.74	0.87	0	0.8	0.89	0.01	0.77	0.88
16/07/2009	13:10:03	525ms	0.64	0.84	0.88	0.59	0.8	0.85	0.64	0.86	0.89	0.62	0.83	0.87
16/07/2009	13:15:03	525ms	0.73	0.87	0.89	0.7	0.85	0.87	0.72	0.87	0.89	0.72	0.87	0.88
16/07/2009	13:20:03	525ms	0.87	0.88	0.89	0.83	0.86	0.86	0.86	0.87	0.89	0.86	0.87	0.88
16/07/2009	13:25:03	525ms	0.87	0.87	0.89	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.9	0.87	0.87	0.88
16/07/2009	13:30:03	525ms	0.73	0.88	0.89	0.7	0.85	0.87	0.71	0.88	0.9	0.71	0.87	0.88
16/07/2009	13:35:03	525ms	0.76	0.88	0.89	0.74	0.86	0.87	0.75	0.88	0.89	0.75	0.87	0.88
16/07/2009	13:40:03	525ms	0.88	0.89	0.9	0.84	0.87	0.88	0.86	0.87	0.89	0.87	0.88	0.88
16/07/2009	13:45:03	525ms	0.88	0.89	0.9	0.86	0.87	0.88	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88
16/07/2009	13:50:03	525ms	0.87	0.89	0.9	0.84	0.87	0.87	0.87	0.88	0.9	0.87	0.88	0.88
16/07/2009	13:55:03	525ms	0.88	0.89	0.89	0.85	0.87	0.88	0.87	0.87	0.89	0.87	0.88	0.88
16/07/2009	14:00:03	525ms	0.88	0.89	0.9	0.86	0.87	0.87	0.86	0.88	0.89	0.87	0.88	0.88

Fuente: Estudio Eléctrico. Empresa de Automatización Integral, Noviembre de 2009.

**ANEXO 6. FAC TOR DE POTENCIA Y ENERGÍA REACTIVA ANTES Y DESPUÉS DE LA COMPENSACIÓN**

Fecha	Hora	Pt	PT	Qt	QT	St	Qcompensado	QT despues	ST	ST despues	fp despues	fp antes
17/07/2009	0:00	50000	50	41300	41.3	65200	25	16.3	65.2	52.6	0.95	0.77
17/07/2009	1:00	48200	48.2	44000	44	65500	25	19	65.5	51.8	0.93	0.74
17/07/2009	2:00	41700	41.7	37000	37	56100	25	12	56.1	43.4	0.96	0.74
17/07/2009	3:00	40500	40.5	38400	38.4	56100	25	13.4	56.1	42.7	0.95	0.72
17/07/2009	4:00	39700	39.7	38700	38.7	55800	25	13.7	55.8	42.0	0.95	0.71
17/07/2009	5:00	39100	39.1	36800	36.8	54100	25	11.8	54.1	40.8	0.96	0.72
17/07/2009	6:00	41300	41.3	36200	36.2	55300	25	11.2	55.3	42.8	0.97	0.75
17/07/2009	7:00	235700	235.7	137200	137.2	272700	100	37.2	272.7	238.6	0.99	0.86
17/07/2009	8:00	287500	287.5	152800	152.8	325600	150	2.8	325.6	287.5	1.00	0.88
17/07/2009	9:00	322400	322.4	157200	157.2	358700	150	7.2	358.7	322.5	1.00	0.9
17/07/2009	10:00	334000	334	167700	167.7	373800	150	17.7	373.8	334.5	1.00	0.89
17/07/2009	11:00	367400	367.4	190400	190.4	413900	175	15.4	413.9	367.7	1.00	0.89
17/07/2009	12:00	267500	267.5	138600	138.6	301300	100	38.6	301.3	270.3	0.99	0.89
17/07/2009	13:00	261700	261.7	142900	142.9	298200	100	42.9	298.2	265.2	0.99	0.88
17/07/2009	14:00	259000	259	140900	140.9	294900	100	40.9	294.9	262.2	0.99	0.88
17/07/2009	15:00	245300	245.3	129200	129.2	277300	100	29.2	277.3	247.0	0.99	0.88
17/07/2009	16:00	231900	231.9	130100	130.1	266000	100	30.1	266	233.8	0.99	0.87
17/07/2009	17:00	209900	209.9	122800	122.8	243200	100	22.8	243.2	211.1	0.99	0.86
17/07/2009	18:00	52100	52.1	39000	39	65300	25	14	65.3	53.9	0.97	0.8
17/07/2009	19:00	52100	52.1	40800	40.8	66500	25	15.8	66.5	54.4	0.96	0.78
17/07/2009	20:00	55900	55.9	36600	36.6	67100	25	11.6	67.1	57.1	0.98	0.83
17/07/2009	21:00	55100	55.1	38400	38.4	67500	25	13.4	67.5	56.7	0.97	0.82
17/07/2009	22:00	52500	52.5	39600	39.6	66000	25	14.6	66	54.5	0.96	0.79
17/07/2009	23:00	50100	50.1	43000	43	66200	25	18	66.2	53.2	0.94	0.76
17/07/2009	23:55	48300	48.3	41400	41.4	63900	25	16.4	63.9	51.0	0.95	0.76

Fuente: Estudio Eléctrico. Empresa de Automatización Integral, Noviembre de 2009.

