



**Universidad de Pinar del Río**

**Facultad de Ciencias Técnicas**

**Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Energéticas Sostenibles**

**Título: Perfeccionamiento de la red eléctrica en la Empresa Pesquera  
Industrial de La Coloma**

Tesis en opción al título de Máster en Eficiencia Energética

**Aspirante:** Ing. Giovanni Alpi Fuentes

**Pinar del Río**

**2013**



**Universidad de Pinar del Río**

**Facultad de Ciencias Técnicas**

**Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Energéticas Sostenibles**

**Título: Perfeccionamiento de la red eléctrica en la Empresa Pesquera  
Industrial de la Coloma**

Tesis en opción al título de Máster en Eficiencia Energética

**Aspirante:** Ing. Giovanni Alpí Fuentes

**Tutor:** M.Sc. Williams Cueto Medina  
Dr. C. Ignacio Estévez Valdés

**Pinar del Río**

**2013**

**PENSAMIENTO.**

*Todo lo nuevo es lo viejo bien olvidado.*

*Aforismo antiguo*

**PÁGINA DE ACEPTACIÓN.**

---

Presidente del Tribunal.

---

Secretario.

---

Vocal.

**Ciudad y fecha:**

## **AGRADECIMIENTOS.**

*Con esta tesis quiero agradecer de forma muy especial a toda mi familia, que ha sido el motor de empuje de este duro andar, a ellos que sin reservas me han brindado siempre su apoyo incondicional y a los que le debo todo lo que soy.*

*A todos aquellos que con su empeño y dedicación han hecho posible que este sueño se haga realidad. Al claustro de profesores de la carrera por todo el conocimiento que me ha transmitido para mi formación como profesional que me servirá de mucha ayuda para ser cada día mejor.*

*A mis compañeros de aula y de trabajo, que han compartido tanto los buenos como los malos momentos, a ellos, que más que dedicarles este trabajo.*

*No podría faltar el agradecimiento doblemente especial a mis tutores, M. Sc. Williams Cueto Medina y Dr. C. Ignacio Estévez Valdés, por toda la confianza que han depositado en mí, por toda la paciencia, la dedicación y nobleza que han tenido conmigo en estos meses de arduo trabajo.*

*Muchas gracias a todos.*

## **DEDICATORIA.**

*Dedico esta tesis a mis padres, que han sido mi principal fuente de inspiración y a los que le debo todo lo que soy y seré en esta vida.*

*A mi esposa, a mis hijos, por su paciencia, confianza y amor, por siempre estar a mi lado.*

*A mis hermanos por su apoyo y cariño.*

*A todos mis amigos que de una forma u otra han propiciado este momento.*

## **RESUMEN.**

En el presente trabajo se hace un estudio de los principales sistemas eléctricos en la (UEB) Unidad Empresarial de Base Industria La Coloma, diagnosticándose y solucionándose un importante número de problemas eléctricos en la misma. Como resultado se detectan problemas referidos al diseño inadecuado de la red de alimentación, la alta frecuencia de roturas en los motores eléctricos industriales, las afectaciones sistemáticas al sistema de alumbrado, la afectación de algunos parámetros de calidad de la energía eléctrica, los altos consumos energéticos y por ende los gastos cuantiosos en divisa, incluyendo entre ellos las penalizaciones por concepto de deterioro del factor de potencia. Esto justificó un estudio retrospectivo mediante el documento descriptivo de fallas y roturas técnicas de los imprevistos que implicaron roturas eléctricas a partir del 2005. Con el empleo de un analizador de redes se realizaron diferentes mediciones y cálculos de algunos parámetros relativos a la energía eléctrica en el circuito línea de langosta y planta de hielo, que culmina con un rediseño de la red eléctrica de alimentación en baja tensión de los circuitos analizados en la industria, con una notable mejora en todos los parámetros relacionados con la calidad energética, traduciéndose todo en un ahorro de 569 196 kWh, cese total de las penalizaciones relativas al factor de potencia y una bonificación total de \$ 14 374,9 pesos convertibles en el año 2012.

## **SUMMARY.**

This project shows a study of the main electrical systems in the base enterprise unit "La Coloma", diagnosing and solving a great number of problems of the electric consumption in this enterprise. As a result of the study, were found problems referred to the inadequate design of the of the electric distribution supply of the unit, the high frequency of breaks of the electric industrial motors, the systematic affectations to the illumination system, the affectation of some parameters of quality of the electric power, the high energy consumptions which causes abundant expenses in convertible pesos, including among them the penalizations for concept of deterioration of the factor of power. It was justified a retrospective study by means of the descriptive document of flaws and technical breaks of the accidental ones that implied electric breaks starting from the 2005. With the use of an analyzer of nets , were carried out different measurements and calculations from some relative parameters to the electric power in the circuit of lobster's line and in the ice's plant, it finished with a redesign of the electric net of feeding in low tension of the circuits analyzed in the industry, with a notable improvement in all parameters related with the energy quality, becoming everything a saving of 569 196 kWh, the total ceasing of the relative penalizations to the factor of power and a total allowance of \$14 374,9 convertible pesos in the year 2012.



## **Tabla de contenido:**

INTRODUCCIÓN	10
Diseño de la Investigación:	11
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.	13
1.1 Breve bosquejo relativo a la realidad energética cubana a partir del año 1989.	13
1.2. Estudios Energéticos efectuados en Cuba.	17
Estudio energético realizado en la terminal refrigerada # 9 del puerto de la Habana (TERREF).	17
Estudio realizado en la resecadora de tabaco de San Antonio de los Baños.	18
Estudio realizado en la fábrica de motores "Taíno".	21
1.3. Problemas similares precedentes en la provincia de Pinar del Río.	23
1.4. Situación energética en la Unidad Empresarial de Base Industria la Coloma anterior al año 2009.	23
1.5 Fundamentación Teórica.	24
CAPÍTULO II: Descripción de los procedimientos y técnicas aplicadas.	29
2.1. Definición de universo de estudio:	30
2.2. Acciones implementadas en la investigación.	30
CAPÍTULO III. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.	38
3.1 Confección del esquema unifilar monolineal de la red de alimentación del Circuito Industria.	38
3.2 Resultado del estudio en los transformadores y la red de distribución.	38
3.3 Mejora del factor de potencia y su consecuencia económica.	40
CONCLUSIONES.	45
RECOMENDACIONES.	46
BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA.	47
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	49
ANEXOS.	51

## INTRODUCCIÓN

La empresa pesquera industrial de La Coloma, subordinada al Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA), se encuentra ubicada en la costa sur de la Provincia Pinar del Río en la avenida 21 del poblado de la Coloma, limitando al este con el Río Colón, al oeste con el poblado Las Canas, al sur con el Mar Caribe y al norte con el poblado de la Coloma municipio Pinar del Río.

Es considerada una de las empresas más consumidora de energía eléctrica en la provincia de Pinar del Río y en el GEIA, esto implica un marcado interés energético y medio ambiental. Esta Unidad Empresarial de Base (UEB), es la encargada del procesamiento y conservación de las especies marinas de su interés comercial. Está conformada por las plantas de procesamiento de langosta, de hielo, conservera, una sala de calderas para la generación de vapor y un taller de mantenimiento industrial.

Considerando que: Una auditoria energética le ayudará a comprender mejor cómo se emplea la energía eléctrica en su empresa, identificando las áreas en las cuáles se pueden estar presentando los derroches de energía eléctrica y en donde es posible hacer mejoras, en momentos en los que el precio de los portadores energéticos ha aumentado considerablemente debido a la actual situación de crisis mundial <sup>1</sup>. Esta investigación se refiere a un estudio que comenzó en octubre del 2009 para mejorar la eficiencia de los sistemas eléctricos y lograr reducciones de costos de producción para incrementar la rentabilidad y la competitividad. En dicho estudio se pudo constatar que la industria contaba con dos alimentaciones eléctricas independientes: Una a través del transferencial automático y la otra a través de un transferencial manual con riesgo de operación para el personal que opera el sistema, pues los transferenciales se tenían que accionar de forma manual. Además, esta situación implicaba que la afectación de una de las alimentaciones invalidara el trabajo de la industria completa pues el tiempo de afectación dependía de dos fuentes de suministro y del tiempo de cambio de los transferenciales manual y automático. Con la afectación de uno de los servicios había que arrancar los tres grupos electrógenos de emergencia porque una parte de la industria se

quedaba sin servicio eléctrico con la consiguiente afectación a la producción completa.

También se pudo comprobar in situ, conductores de alimentación que soportan la carga eléctrica industrial por debajo de las capacidades necesarias y alta temperatura en estos, lo que implicaba mayores pérdidas en la red de distribución interna, precisándose conductores al menos de 720 mm<sup>2</sup>. Se logró constatar, un consumo que no se correspondía en cierto periodo de tiempo con la situación real de la industria, pues esta, tenía desactivada una línea de producción determinada y el valor de energía eléctrica registrado era el mismo que cuando estaba trabajando la industria de forma integral. Además se observaron variaciones frecuentes del voltaje debido a desbalance en la corriente de carga y falso contacto en las conexiones eléctricas que provocaban variaciones de frecuencia y disparos frecuentes de los motores que mueven los compresores del sistema de refrigeración industrial.

En toda instalación industrial en la cual el principal portador energético sea la energía eléctrica debe revisarse cada uno de los aspectos en que sea posible disminuir el consumo<sup>2</sup>. Con el incremento de las cargas no lineales en las aplicaciones industriales, surgen problemas de distorsión armónica en las señales de voltaje y de corriente, lo cual provoca pérdidas de energía eléctrica y empeoramiento del factor de potencia, que debe ser mayor o igual a 0.90%, estos parámetros al no tener un comportamiento adecuado, van afectando la calidad de la energía eléctrica en los sistemas eléctricos industriales<sup>3</sup>. En consecuencia, se procedió entonces al estudio del nivel de carga de los motores con respecto a su potencia, implicando cambios tanto de motores subcargados como de re conexiones eléctricas en los devanados de otros motores.

### **Diseño de la Investigación:**

**El problema** que abordó este trabajo fue: Las altas frecuencias de averías en la tecnología eléctrica industrial y el alto consumo de energía eléctrica reactiva en la UEB, Industria de La Coloma.

**Objeto de Estudio:** El sistema electroenergético correspondiente a la línea de producción de langosta y a la planta productora de hielo en la UEB Industria de La Coloma.

**Campo de acción:** Parámetros de calidad de la energía eléctrica y tecnología integrada a los circuitos eléctricos pertenecientes a la línea de producción de langosta y a la planta productora de hielo en la UEB, Industria de La Coloma.

**Objetivo General:** Implementar un plan de acciones que diagnostique el sistema electroenergético industrial en la UEB Industria de La Coloma y sobre la base de las potencialidades de la misma permita la disminución de averías y el alto consumo eléctrico.

**Objetivos Específicos:**

- Realizar un diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica, incluyendo un estudio de cargas instaladas y comportamiento del factor de potencia en los circuitos eléctricos de la industria.
- Implementar una estrategia para lograr la reducción del consumo de energía eléctrica.

**Hipótesis:** Si se determinan los potenciales de ahorro de energía eléctrica en las líneas de producción de langosta y de hielo en la UEB Industria de La Coloma, a través de los diagnósticos correspondientes de la calidad de la energía eléctrica y uso final de la misma, entonces se podrá proponer e implementar un plan de acciones que implique una reducción significativa en el consumo eléctrico, decreciendo de forma notable la frecuencia de interrupciones en la industria.

**Resultados Alcanzados:**

1. Mejora de los parámetros de la calidad de la energía eléctrica en los circuitos eléctricos de la UEB industria en La Coloma.
2. Uso racional de la energía eléctrica en la UEB industria de La Coloma.
3. Reducción de las interrupciones del sistema eléctrico en la UEB industria de La Coloma.

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.**

### **1.1 Breve bosquejo relativo a la realidad energética cubana a partir del año 1989.**

La crisis en el suministro energético a la economía nacional cubana ha repercutido en mayor o menor grado en todos los sectores de la actividad económica. Esta situación ha obligado a la dirección del país a tomar diversas medidas y programas para enfrentar esta crisis, cuyo alcance ha sido global y sectorial, entre estos están:

#### 1- Programa de ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC).

En 1997, se inicia el Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC) como parte de la estrategia de desarrollo de la industria eléctrica, mediante un programa integral que desde sus inicios contó con el respaldo político total. Se logró orientar al pueblo en la aplicación de medidas sistemáticas y prácticas de ahorro de energía eléctrica para la reducción de los consumos y manejo apropiado de la demanda durante el horario pico del sistema <sup>4</sup>.

El PAEC desarrolla el primer programa de cambio de bombillos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas con un alcance de 3 millones de unidades y realiza estudios de tenencias de equipos en el sector y la eficiencia de los mismos como base para evaluar programas de cambio, crea un cuerpo de reguladores de carga eléctrica en el país formado por profesionales muy capacitados en la eficiencia energética que trabajan directamente en los principales consumidores para de conjunto con su fuerza técnica perfeccionar sus programas de ahorro y manejo de demanda.

El PAEC también establece las primeras normas de eficiencia de equipos electrodomésticos de importación y producción nacional, desarrolla una campaña nacional de comunicación por todos los medios para incrementar el ahorro en todos los consumidores y logra acuerdos con el Ministerio de Educación de Cuba para desarrollar un programa que garantice una formación en una cultura de ahorro y cuidado del medio ambiente en las nuevas generaciones.

Gracias a estas acciones, se logra en el periodo de 1997 al 2001 que la demanda máxima del sistema nacional se reduzca en más de 150 MW y que la

economía cubana creciera el doble del crecimiento que el consumo de electricidad registró en el periodo.

## 2- Programa de Ahorro de Energía eléctrica del Ministerio de Educación (PAEME)

El Ministerio de Educación desde el curso 1997-1998 comenzó a desarrollar un proyecto docente-educativo para el ahorro de energía eléctrica y cuidado del medio ambiente denominado PAEME.

El PAEME tiene como objetivo general contribuir, a través del Sistema Nacional de Educación, a la formación en las actuales y futuras generaciones de una actitud cívica responsable que partiendo del conocimiento de la situación energética actual del país y del mundo garantice una toma de conciencia de la necesidad del uso racional de la energía eléctrica, su ahorro y la consecuente contribución de la protección del medio ambiente en el marco del desarrollo sostenible.

No obstante, estas medidas fueron insuficientes para garantizar los índices de servicio que se requerían. En mayo del 2004 el Sistema Electroenergético Nacional se vio seriamente afectado con frecuentes cortes de suministro de las antiguas centrales termoeléctricas y las averías producidas por los frecuentes e intensos huracanes, ocasionando una crisis energética que provocaba severas afectaciones a la economía nacional y a la población. Ante este colapso surge en Cuba la llamada Revolución Energética. Esta generó un cambio sustancial en la forma como el país transforma y usa la energía eléctrica. El objetivo fundamental de este proceso enfoca a la transformación radical de los procesos de generación, distribución y consumo final de la electricidad, apuntando a la eficiencia energética como su principal herramienta. Esta tarea se inició aceleradamente en el año 2005. Teniendo en cuenta la dimensión del propósito, la Asamblea Nacional del Poder Popular acordó nombrar el año 2006: "Año de la Revolución Energética en Cuba".

En el Sector Estatal – Grandes Consumidores, se consideraron:

- Medidas especiales para la regulación de la demanda y acomodo de carga en 1.720 centros grandes consumidores. (Servicios seleccionados).
- Implantación del sistema de gestión eficiente de la energía eléctrica en los servicios seleccionados.

- Elaboración y control de los planes de consumo de electricidad en los servicios seleccionados.
- Capacitación de los responsables del control de la energía eléctrica en estos centros e inspecciones posteriores para evaluar resultados.

En el marco de la Revolución Energética, se trazaron algunas estrategias para incrementar la eficiencia energética, dentro de estas tenemos:

- Lograr la determinación de los índices de consumo físico en los centros altos consumidores.
- Crear base de datos donde se compare con centros similares de Cuba y otros países.
- Instalación de bancos de capacitores en clientes con bajo factor de potencia.
- Cambio de motores ineficientes en la industria.
- Uso eficiente en la climatización y refrigeración.

La Revolución Energética ha tenido un impacto económico social y energético ambiental, demostrando su factibilidad y efectividad, con la participación activa de la población y específicamente de la juventud, y la movilización de los actores sociales de la comunidad. Se ha logrado la alianza de actores sociales en torno al cuidado medioambiental y la salvaguarda de la especie humana<sup>4</sup>.

Hasta el momento el problema de explotar el recurso de eficiencia energética se ha abordado en las empresas de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética<sup>5</sup>.

Desde 1989 a la fecha, el país atraviesa por una etapa crítica en la que su desarrollo, basado en una estructura económico productiva excesivamente dependiente de las importaciones de petróleo, con tecnologías y esquemas de especialización caracterizados por indicadores de eficiencia relativamente inferiores a sus similares internacionales y con una elevada intensidad energética, se ve sometido a la súbita pérdida de los suministros de petróleo que venía recibiendo establemente y a precios preferenciales (aproximadamente de 13 millones de toneladas, en 1989, a unas 6 millones de toneladas, en 1993). Esta situación provocó un intenso déficit de energía

eléctrica que impactó fuertemente en todas las estructuras productivas, de servicios y poblacionales del país. Al inicio del 2006, existen 2 940 MW de potencia instalada en Termoeléctricas, gran parte de las cuales supera los 25 años de explotación, y tienen una disponibilidad promedio del 60 % y grandes consumos de combustible por kWh generado. En la actualidad, a pesar de alternativas que se buscan a nivel nacional como paliativo para la situación energética cubana, continuamos dependiendo en mayor medida de la generación en función del petróleo, producto que aun nuestro país no dispone en cantidades necesaria, haciéndose muy costosa su importación dado, entre otros factores, por la crisis económica mundial, más la políticas imperialista que sin dudas está tratando de ocupar todos los recursos energéticos principalmente de los países árabes, donde se encuentran los mayores productores y exportadores a nivel mundial de petróleo. La energía es un elemento clave dentro de la sociedad y uno de los principales motores que mueve la economía, por tanto el crecimiento económico es un factor que inevitablemente llevará implícito un aumento del consumo energético <sup>6</sup>. No obstante debe entenderse que, el ahorro energético no sólo significa disminuir el gasto de un país, sino que hay una relación directa con el impacto medioambiental que se produce <sup>7</sup>, además conscientes de que: Ahorrar energía eléctrica no impone que debamos limitar el crecimiento económico, en particular, ahorrar energía eléctrica significa hacer de ella un uso más racional, en especial, cuando su generación se produce mediante la quema de combustibles fósiles que, como se sabe, son recursos que no son renovables <sup>2</sup>. Nuestro país, necesita conservar el medio ambiente en todo proceso productivo que en él se desarrolle, la sostenibilidad es algo por lo que todos hoy claman, pero hay que producir cada día más, en el caso de Cuba eso es de vital importancia, solo que por varias razones nuestra filosofía es lograr producción creciente con menos recursos y sin obviar la componente ambiental y la calidad productiva, sin dudas es un reto bien grande y pudiera parecer una paradoja, pero en nuestro caso no tenemos otra opción.

La economía globalizada ha llevado a las empresas, tanto industriales, como de servicios, a elaborar productos cada vez más competitivos y con menores costos con el objetivo de mantenerse en la creciente competencia a la que se han visto obligados en los últimos años <sup>8</sup>.



En este marco, se desarrolló esta investigación, con el total ánimo de hacer más con menos, dicho de otra manera, garantizar la producción de la industria que tanto aporte da y necesita la economía nacional, y a su vez, tratar, con todos los recursos disponibles, de minimizar los gastos por todos los conceptos, en especial, lo relativo al consumo de energía eléctrica.

## 1.2. Estudios Energéticos efectuados en Cuba.

### Estudio energético realizado en la terminal refrigerada # 9 del puerto de la Habana (TERREF).

En este estudio se analizaron solamente las pérdidas de transformación, pues el mayor problema se encontró en el aislamiento de las cámaras de frío y el mal estado de las instalaciones térmicas en general, las que fueron objeto de estudio por parte de los especialistas en esa materia.

En ese sentido, se encontró al llegar al lugar, dos subestaciones con las características que se muestran en la tabla 1.1, donde S/E representa las subestaciones bajo estudio,  $S_{nom}$  representa la potencia aparente nominal expresada en kVA,  $P_{cc}$ , las pérdidas en régimen de cortocircuito expresada en kW,  $P_o$ , pérdidas en el cobre en kW, Carga se refiere a la carga real instalada en el momento del estudio expresada en kVA, % de carga representa el % de la carga en kVA con respecto a la potencia nominal.

Tabla 1.1 Características de las subestaciones escogidas como punto de medición.

S/E	$S_{nom}$ (kVA)	$P_{cc}$ (kW)	$P_o$ (kW)	Carga (kVA)	% de carga
1	2500	25	3,750	850	34
2	1000	10.4	1.7	269	26.9

Se puede apreciar que ambos transformadores están subcargados, lo que quiere decir que las pérdidas de transformación por concepto del uso de los mismos representan un valor importante, toda vez que los dispositivos utilizados son de gran capacidad y, por lo tanto, sus pérdidas son mayores.

Además de las mediciones realizadas, se recogieron los datos de producción y consumo del año anterior a la realización de la auditoría.

Como segunda parte del trabajo, se procedió a proponer las medidas que mitigarán dicho proceso, para lo cuál se evaluaron dos alternativas:

1. Hacer el estudio técnico-económico de la factibilidad de la compra de un transformador que diera servicio a las cargas alimentadas por ambas subestaciones, atendiendo a la cercanía de las mismas.
2. Estudiar si el transformador de 1000 kVA podía absorber toda la carga y de esa manera quedar fuera de servicio el de 2500 kVA, que era el de mayores pérdidas.

De lo propuesto con anterioridad, se decidió estudiar la segunda variante, pues, a petición de la dirección de la empresa, se requería de una medida que tuviera la menor inversión posible.

El monto total de las pérdidas era de \$ 13391.71 anual, teniendo la mayor incidencia en ello el costo de las pérdidas del motor, el cual estaba sobredimensionado, pues el compresor que él alimentaba solo necesitaba 200 kW para su correcta operación, mientras que el motor que tenía era de 464 kW. En segundo lugar está el costo de las pérdidas del transformador de 2500 kVA, “razones por la cuáles se propuso la sustitución del motor existente por otro de la capacidad adecuada, que en este caso es de 264 kW, y la alimentación del nuevo sistema propuesto a partir del transformador de 1000 kVA.”<sup>9</sup>

Por último, se comprobó la efectividad de las mejoras propuestas, obteniéndose que, con los ahorros estimados, se logra reducir el índice de un 24.23 % que tuvo como promedio en el año 2001, a un 24 % después de aplicada la medida, lo que se considera aceptable si se tiene en cuenta que era un consumidor del orden de los miles de MWh al año.

### **Conclusiones parciales.**

1. A pesar de estudiar una sola variante, se tuvo un ahorro de \$ 10 035 al año, buena cantidad para un problema que no es el más representativo de la industria como ya se explicó.
2. Se propuso la sustitución del motor, pues su inversión sería más barata que la de un nuevo transformador.

### **Estudio realizado en la resecadora de tabaco de San Antonio de los Baños.**

Este trabajo fue realizado a petición de la empresa Tabacuba y tuvo como objetivo fundamental crear un sistema de gestión energética que permitiera un

uso más racional de la energía en dicha entidad y que, por lo tanto, permitiera economizar las finanzas del lugar.

Para ello se realizaron mediciones en las dos secciones de barra que componen la Pizarra General de Distribución (P.G.D) y se estudiaron las facturas del servicio eléctrico.

A partir de los resultados obtenidos se recomendaron un grupo de medidas técnicas y organizativas encaminadas a la reducción del consumo de energía eléctrica. En esta instalación se le aplica la tarifa M1B y se tiene una demanda contratada de 1100 kW.

Al analizar los resultados de las mediciones y los datos recogidos durante la primera etapa del estudio, se encontraron los siguientes problemas:

1. Gran pérdida de dinero por concepto de pago de penalizaciones debido a un bajo factor de potencia. Según las mediciones, el factor de potencia promedio es de 0.83 en la sección de barra 1 (blindo barra), mientras que en la sección 2 (procesos auxiliares y alumbrado) es de 0.68, valores que están por debajo del establecido por la empresa eléctrica, que es de 0.9. De acuerdo con la tarifa establecida, y la facturación mensual hecha por la empresa eléctrica, las pérdidas financieras totales en el año 2001 fueron de \$ 49620.08.
2. El transformador que alimenta la sección de la blindo barra está sobredimensionado, ya que lleva una demanda máxima de 550 kVA., cuando el mismo tiene capacidad nominal de 1250 kVA, lo que representa solamente el 44% de la carga que puede asumir, en tanto que el transformador de la otra sección, que es también de 1250 kVA, está subcargado al 23.7 %. Aunque, según el esquema del sistema de la industria (secundario selectivo), los transformadores deben estar diseñados para soportar la carga de ambos en caso de avería, no obstante, es posible redimensionar los transformadores y utilizar dispositivos cuya potencia nominal se ajuste más a la carga a servir.
3. Existencia de un desbalance del 23 % entre las corrientes que circulan por las fases A y C de la blindo barra. En la otra parte, este desbalance es aún mayor (68.6 % entre las fases A y B, debido fundamentalmente a la gran cantidad de carga monofásica conectada allí resumida en alumbrado, talleres auxiliares y oficinas). Estos valores no son

permisibles desde el punto de vista técnico para el adecuado funcionamiento de la red eléctrica, ya que propician un aumento considerable de las pérdidas, por lo que debe ser rectificado.

4. Un grupo de esteras funciona sin utilidad alguna durante el proceso de selección y tratamiento del tabaco negro.
5. Una demanda contratada por encima de las necesidades reales de la industria. Por esta razón se pagan como promedio 5500 \$/mes, lo cuál representa aproximadamente el 25 % de la facturación total.

De acuerdo con lo anterior, se recomendaron una serie de medidas, con lo que se obtuvieron los resultados que se describen a continuación:

1. Para mejorar el factor de potencia se recomendó instalar un banco de capacitores de 160 kVAr en el lado de la blindo barra, y otro de 150 kVAr del otro lado de la barra.

Debido a los cálculos practicados de frecuencia de resonancia, se comprobó que no había problema en utilizar estos bancos de capacitores. Con ello se elevaría el factor de potencia a 0.94, valor con el cual no se penalizaría a la industria y que reportaría un beneficio de 49200 \$/a. Por otra parte, teniendo en cuenta la bonificación que ofrece la Empresa Eléctrica por tener un factor de potencia alto, se tendría una bonificación del 2 % del importe de facturación normal cada mes, que representan aproximadamente \$ 900.00 según el ritmo de consumo actual de la industria Esta inversión sería de alrededor de \$ 12000 y se recuperaría en 4 meses aproximadamente.

2. Cambiar los transformadores por dos de 800 kVA. Con esta medida se busca reducir las pérdidas de transformación, que hasta el momento son de \$ 51869.5 como promedio, ya que mientras más subcargado esté el transformador más energía reactiva consume y por tanto mayores pérdidas tiene, además de que contribuye a disminuir el factor de potencia con la corriente de magnetización. Con esta medida se obtiene un ahorro de \$ 3212.6 por año, calculados a partir de los parámetros técnicos de los transformadores propuestos, suministrados por estudios realizados por el personal especializado. Debido al alto costo de los transformadores, se recomienda que esta medida se ejecute a largo plazo. La fábrica Latina tiene ofertas por valor de \$ 10000.

3. Renegociar la demanda contratada a un valor de 780 kW. Actualmente esta demanda es de 1100 kW y se cobra \$ 5.00 por cada kW instalado. Con esta medida se obtuvo un ahorro de 17550 \$/a en el año 2002, tomado a partir de la demanda máxima leída en ese año por la empresa eléctrica.
4. Balancear las cargas entre las fases. Esta medida no se estudió con mayor profundidad, debido a la ruptura del contrato de trabajo con dicha entidad en el momento que se comenzaba su ejecución.
5. Desconectar las esteras, de existir, que funcionan durante el proceso productivo, pero que no cumplen ninguna función en el evento tecnológico.
6. Rediseñar el sistema de alumbrado para lograr un uso más racional de la energía y niveles de iluminación acordes a la tarea a desarrollar en los diferentes locales.

#### **Estudio realizado en la fábrica de motores “Taíno”.**

El estudio realizado en esta entidad fue el más completo de todos, pues en este caso el contrato se llevó a término, lo que permitió realizar las mediciones y los análisis de una forma más amplia y detallada.

Esta industria tiene un servicio a 33 kV que alimenta la mayor parte de la fábrica y otro a 13 kV que alimenta el taller de Mecanizado I. Ambos servicios se estudiaron durante la auditoría al lugar.

Se comenzó por la recopilación de los datos de la producción y del consumo de energía eléctrica con el fin de conocer el estado actual de la instalación en cuanto a eficiencia energética se refiere, a partir del índice de intensidad energética.

En el caso de esta empresa se tiene hasta el mes de Octubre del 2003, una demanda contratada de 400 kW, por lo cuál se abona un importe fijo de \$ 2200.00, en tanto que, siguiendo el método propuesto, se coleccionaron los valores de demanda máxima leída en el transcurso del año 2002 para su posterior evaluación.

Con ellos se realizó el cálculo del nuevo valor de demanda a contratar para que se ajustara más a las nuevas condiciones de trabajo en la empresa.

Por tal motivo se recomendó renegociar la demanda contratada al valor de 300 kW, que es un valor ligeramente superior al medido y ofrece la posibilidad de no ser penalizado por este concepto.

Con esta recomendación, que no lleva inversión alguna, el próximo año debía obtener un ahorro de \$ 550 por mes y al año \$ 6600 al estar pagando 100 kW menos de demanda contratada mensuales.

**Los resultados del estudio fueron los que a continuación se presentan:**

1. Al ejecutar la doble alimentación propuesta, se tendrá un ahorro de \$ 17000 al año toda vez que las interrupciones quedarían reducidas al mínimo con el empleo del transferencial.
2. En el taller de Mecanizado I se detectaron problemas de calidad de la energía cuya solución se propuso a través de un filtro del tipo FR6-220-230, para atenuar el quinto armónico, que es el de mayor incidencia (27 % de la corriente total) y que, además, permitiera la mejora del factor de potencia, hasta el momento con un valor de 0.3 hasta un valor de 0.94, que permitiera operar correctamente la instalación desde el punto de vista técnico económico. Esta medida es rentable, aunque muy costosa.
3. Los motores empleados en el bombeo del agua no representan un consumo importante dentro del total de la industria, por lo que no se recomendaron medidas al respecto.
4. La demanda contratada es superior a las reales necesidades de la industria por lo que una reducción de la misma hasta 300 kW, representaría un ahorro de \$ 6600 al año. Esta propuesta es muy tentadora pues no conlleva inversión alguna, pero no implica reducción del consumo.

Concluyendo, en todos los casos se obtuvieron ahorros sustanciales con la aplicación de las medidas propuestas.

En los tres estudios se encontraron los problemas previstos en el método: transformadores sobredimensionados, bajo factor de potencia, distorsión de la onda de corriente, problemas organizativos, y demanda contratada mayor que la requerida.

### **1.3. Problemas similares precedentes en la provincia de Pinar del Río.**

En el año 2008, motivado por el tiempo prolongado de trabajo del sistema de refrigeración del establecimiento industrial de la Coloma, así como, las afectaciones de los indicadores de eficiencia energética del mismo, se comenzó, de forma oficial un estudio con el objetivo de: Determinar las causas que provocaban el deterioro de la eficiencia energética del sistema de refrigeración<sup>10</sup>, este estudio concluyó de forma exitosa en el año 2010 y aseguró el nivel de partida para el inicio del presente trabajo.

También, en la fábrica de refrescos "Orlando Nodarse Verde" se llevó a cabo una investigación que culminó en el año 2011, el problema abordado en esta investigación consistía en: La necesidad de mejorar el control del consumo de los principales portadores energéticos e índices de consumo, eficiencia y económico energéticos<sup>11</sup>.

Por el ritmo de producción y por el elevado consumo de electricidad de la fábrica la Empresa Eléctrica le aplicó la tarifa de M-1A, denominada Tarifa de Media Tensión con Actividad Continua. Con la aplicación de esta tarifa la fábrica no se vio muy favorecida, ya que en ese centro se estaba produciendo con un bajo factor de potencia de 0.7, y esto trae consigo según reconoce el autor de la citada investigación: "Una disminución de la capacidad de los equipos de generación, distribución y maniobra de la energía eléctrica; un incremento en las pérdidas de potencia y energía eléctrica; una deficiente regulación de tensión y un incremento en la factura de energía eléctrica<sup>11</sup>."

### **1.4. Situación energética en la Unidad Empresarial de Base Industria la Coloma anterior al año 2009.**

La reducción de la demanda, del consumo de energía eléctrica, de los costos asociados con ellos y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicio, resulta imprescindible en la situación actual de la economía de nuestro país. Por su importancia económica y niveles de consumo de energía eléctrica la Unidad Empresarial de Base Industria la Coloma ha sido un objetivo de interés energético nacional. Considerando que, "es esencial crear y consolidar en las empresas las capacidades técnicas y organizativas necesarias para ejecutar una eficiente planificación control, diagnóstico y un mejor uso de los portadores energéticos

que posibiliten reducir los índices de consumo, disminuir los gastos y el impacto ambiental de los energéticos, mejorando la competitividad de forma sostenible" <sup>12</sup>. Sumado, que ya en el año 2007 la administración y la dirección técnica empresarial, clamaban por algunas acciones que implicaran ahorros sin afectar los niveles de producción que el país urgía, se decide comenzar el estudio relativo a esta investigación, con una situación energética permeada por todos los problemas destacados ya en la introducción de esta tesis que se traducían en un sobre consumo energético alto, consecuentemente se imponía a la empresa penalizaciones que promediaban anualmente en el periodo del 2007 al 2009 la cantidad de 3728,23 CUC.

Es importante concebir que, "para poder llevar a cabo un estudio sobre ahorro de energía eléctrica, ampliaciones, diseños y otros aspectos relacionados con los sistemas eléctricos industriales y de servicio, es necesario conocer los detalles de la utilización de la energía eléctrica, los equipos que la consumen, las especificaciones técnicas de los mismos y los receptores que operan simultáneamente" <sup>13</sup>. La presente investigación, toma en cuenta estos cuatro aspectos y considera que: Un programa de perfeccionamiento energético difícilmente puede considerarse completo sin una evaluación de la eficiencia de los motores más potentes y críticos de una instalación <sup>14</sup>, que el control que se efectúe diario sobre todos los consumidores conectados al sistema y los parámetros de la energía eléctrica para evitar el derroche energético son de vital importancia para poder desarrollar un eficiente programa de ahorro y con estos principios fue que se abordó la problemática energética empresarial empleando materiales y métodos que a continuación serán expuestos en detalles.

### **1.5 Fundamentación Teórica.**

En materia energética y desde el punto de vista eléctrico industrial, Cuba, ha puesto en vigencia en voz de la Oficina Nacional de Normalización (NC), o Cuban National Bureau of Standards, según su nombre internacional, con sede en la calle E, # 261 Vedado, La Habana, en su primera edición de Junio del año 2011, el código electrotécnico cubano, el cual en su parte I, relativa a temas de baja tensión define y normaliza los principales aspectos que son abordados en



este trabajo, constituyendo una fundamentación teórica importante a todos los objetivos del mismo.

Al realizar un análisis del código electrotécnico cubano se puede apreciar que:

- En el Capítulo 4, se fundamentan los esquemas de distribución eléctrica en baja tensión junto a los esquemas de puesta a tierra, los diferentes sistemas de instalación y las influencias externas.
- En el Capítulo 9 se hace referencia al mejoramiento del factor de potencia.
- En el Capítulo 11, se aborda dentro del tema de cargas particulares, los transformadores y autotransformadores, luminarias, lámparas y motores asíncronos, todos ellos analizados en profundidad durante el desarrollo del trabajo.
- Por último en el Capítulo 13, se plantean las directrices sobre compatibilidad electromagnética (EMC), que avalan este trabajo, en cuanto a distribución eléctrica, principios, estructuras de puesta a tierra y recomendaciones de cableado.

Otro material referente de gran importancia para comprender este trabajo lo constituye la resolución # 28-2011, emitida por el Ministerio de Finanzas y Precios de la república de Cuba, el cual reglamenta el sistema de tarifas eléctricas para el sector no residencial.

En el acápite 10 de la resolución # 28-2011, en la página 3 del Anexo único, es posible encontrar lo siguiente y cito: “El suministro de energía eléctrica, para el racional funcionamiento del Sistema Electroenergético Nacional debe efectuarse con un factor de potencia de 0.90 o mayor. Valores inferiores implican gastos innecesarios de energía reactiva por las líneas del Sistema Electroenergético Nacional, provocando pérdidas de energía<sup>15</sup>”.

Aparece además en ese Capítulo el método del cálculo del factor de potencia y la metodología empleada en Cuba para calcular el monto correspondiente a las penalizaciones o bonificaciones según el comportamiento de los diferentes consumidores.

Para determinar las Categorías, términos y definiciones de la calidad de energía eléctrica, las normativas internacionales y nacionales en este sentido, se expresan a través de la norma IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality 1159-1995<sup>13</sup>.

En el epígrafe 2.5 referido a Variaciones de voltaje de larga duración se hace alusión a la norma ANSI C84.1, la cual se resume en la tabla 1.2, donde se aprecian los rangos deseables y aceptables de variaciones de tensión permitidas en los circuitos eléctricos industriales, en epígrafes posteriores se reflejan las acciones a tomar para corregir la variación de tensión.

Tabla 1.2 norma ANSI C84.1.

<b>Valor nominal de tensión (V)</b>	<b>Rango deseable de tensión (V)</b>	<b>Rango aceptable de tensión (V)</b>
120	126 - 114	127 – 110
208	218 - 197	220 – 191
240	252 - 228	254 – 220
277	291 - 263	293 – 254
480	504 - 456	508 – 440
2400	2525 - 2340	2540 – 2280
4160	4370 - 4050	4400 – 3950
4800	5040 - 4680	5080 – 4560
13800	14490 - 13460	14520 - 13110
34500	36230 - 33640	36510 - 32780

**Para corregir la variación de tensión deben realizarse ajustes en las instalaciones eléctricas tales como:**

- Verificar la tensión entre el transformador y el alimentador del motor. En caso de existir una caída de tensión superior al 5 %, se debe incrementar el calibre del conductor.
- Si el factor de potencia es bajo (menor a 80 %) en las líneas de alimentación al motor, deberá compensarse el reactivo hasta lograr un valor de al menos el 90 %, para reducir la caída de tensión.
- En caso de presentar una desviación de tensión superior o inferior en la alimentación del motor, debe analizarse si puede llevarse a cabo un ajuste de los “taps” o derivaciones del transformador, para aproximar la tensión al valor nominal del motor.

También se hace alusión a las causas fundamentales del desbalance, principales efectos del desbalance y en cuanto afecta al sistema de energía eléctrica industriales.

**I-Entre las causas fundamentales del desbalance se tienen:**

- Conexión de cargas monofásicas en redes trifásicas
- Operación bajo falla de equipos de corrección del factor de potencia
- Impedancias asimétricas en las redes de alimentación
- Falta de fase en algunos puntos del sistema
- Fallas monofásicas a tierra no identificadas
- Desperfectos en los empalmes, uniones y contactos
- Transposición incompleta de las líneas de transmisión
- Fuente de suministro inestable o desbalanceada

**II-Entre los principales efectos del desbalance sobre las máquinas asincrónicas se encuentran:**

- Aumenta el calentamiento y se reduce la eficiencia
- Reducción del momento de arranque y el momento máximo
- Aumenta el deslizamiento
- Asimetría en las corrientes y aumento de los kVA necesarios para el arranque
- Aumento del ruido y las vibraciones, principalmente de 120 Hz de frecuencia

**III-El régimen desbalanceado afecta al sistema en cuanto:**

- Aumenta el consumo energético y el costo operacional
- El desbalance de las corrientes es varias veces superior al desbalance de las tensiones
- Crea dificultades en el ajuste de las protecciones
- Significa un aumento de la carga
- Distorsiona el factor de potencia real

## **CAPÍTULO II: Descripción de los procedimientos y técnicas aplicadas.**

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario adquirir mediciones eléctricas especializadas, por lo que se hizo necesario emplear además de los instrumentos clásicos de mediciones de variables eléctricas industriales que miden tensión, corriente y resistencia eléctrica, el uso de analizadores de redes que miden potencias activas, reactivas y aparente, energías activas, reactivas y aparentes, factor de potencia, balance de fases, gráficos de carga, entre otros y permiten mostrar los diagramas fasoriales de tensión y corriente del sistema.

Por otro lado el ordenador es instrumento indispensable de toda investigación científica, en este caso la descarga de los datos adquiridos se realiza directamente en un ordenador donde son evaluados. En el ordenador radican además otros sistemas de diseño eléctrico computarizado, en este caso el software ECODIAL, de la compañía transnacional Schneider Electric ver (anexo 3), mediante el cual se realizan las modificaciones pertinentes al sistema eléctrico industrial defectuoso.

### **Materiales empleados:**

1. Equipos de mediciones eléctricas.
2. Ordenador.
3. Software ECODIAL 315 y Microsoft Office Excel.
4. Analizador de Redes.

En cuanto a los métodos empleados la mayor prevalescencia la posee el método empírico, a través del cual ocurren todas las mediciones realizadas con los diferentes instrumentos y materiales descritos con anterioridad, aquí se realiza una observación científica sistemática, a partir de la cual se comienzan a detectar las causas de los problemas existentes.

### **Métodos empleados:**

1. Empírico:
  - Medición.
  - Observación Científica Sistemática.
2. Descriptivo Retrospectivo.

Con el método descriptivo retrospectivo es posible hacer un análisis del comportamiento en lo relativo a interrupciones de la industria en etapas

precedentes al comienzo de la investigación y correlacionar datos adquiridos durante la aplicación del método empírico, en diferentes espacios de tiempo permitiendo establecer tendencias en los comportamientos anómalos de diferentes parámetros y por ende dar paso a las posibles soluciones implementadas en este trabajo.

### **2.1. Definición de universo de estudio:**

El universo de estudio es el sistema eléctrico de la UEB Industria de La Coloma

### **2.2. Acciones implementadas en la investigación.**

A partir de la situación que se ha descrito en capítulos anteriores de esta investigación, en el año 2009 se procedió en primera instancia a la revisión del documento descriptivo de fallas y roturas técnicas existente en la entidad, comprobándose que la frecuencia de roturas en equipos eléctricos industriales era alta, con la agravante, que muchas de estas roturas tenían una elevada probabilidad de motivos relativos al comportamiento inadecuado de ciertos parámetros de la energía eléctrica, que la hipótesis de esta tesis considera determinantes para bajar los altos índices de roturas existente.

Posteriormente, se comenzó el análisis del esquema unifilar monolineal que existía entonces, con la finalidad de analizar los dos circuitos que pertenecían a la industria, comprobando in situ que el citado esquema no se correspondía con la realidad del monolineal de la industria (ver anexo 1). Consecuentemente se procedió a confeccionar un monolineal que expresara la realidad de entonces, para así facilitar todo el proceso de medición futuro que se precisaba en la propia investigación.

Para estudiar los circuitos relativos a la industria, se procedió a analizar los tres transformadores que alimentaban los dos circuitos con que contaba esta, corroborando que un circuito se alimentaba de dos transformadores 3 $\emptyset$  (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) de 630 kVA, 13.2 kV - 0.480/0.277 kV con una conexión  $\Delta/Y$  perteneciente al grupo 5 en paralelo y el otro de un transformador 3 $\emptyset$  (T<sub>3</sub>) de 1000 kVA, 13.2 kV - 0.480/0.277 kV con una conexión  $\Delta/Y$  perteneciente al grupo 1, el análisis era necesario para poder responder a un proceso de medición de todos los dispositivos y consumidores conectados a la red eléctrica de la industria, considerando en los actos de medición con equipos convencionales (ver

anexo5) el voltaje, corriente y frecuencia y con los no convencionales( Analizador de Redes) Valores extremos y promedios, frecuencia, factor de potencia, tensión real máxima, potencia instalada por fase y voltaje por fases, además los mismos parámetros que se calcularon con los instrumentos convencionales (ver anexo 4). Todos estos parámetros se midieron con la finalidad de efectuar cálculos que posibilitaran conocer en detalles la calidad de la energía eléctrica en la industria.

Teniendo en cuenta que:

"Las normas internacionales han establecido límites en la explotación de las máquinas y procedimientos para determinar el grado de desbalance de un sistema.

La norma ANSI C50.41.4.2 establece que un desbalance superior a un 1 % es una condición inadecuada que debe eliminarse. La norma IEC 34.1.12.2.1 plantea que los motores deben ser capaces de operar por un largo período de tiempo con un desbalance de un 1 % o por un corto período de tiempo que no exceda varios minutos con un desbalance de 1.5%. La norma NEMA MG1 14.35 establece un ajuste de la capacidad de los motores en función del desbalance y define el % de desbalance como" <sup>13</sup>:

$$\%Desb_{LÍNEA} = \frac{Max\{|V_{AB} - V_{PROM}|; |V_{BC} - V_{PROM}|; |V_{CA} - V_{PROM}|\}}{V_{PROM}} \quad (2.1)$$

$$V_{PROM} = \frac{V_{AB} + V_{BC} + V_{CA}}{3} \quad (2.2)$$

En primer término se calculó el voltaje promedio de la línea de alimentación de los dos circuitos:

Donde  $V_{prom}$  es el voltaje de línea promedio entre las tres fases (V),  $V_{AB}$  es el valor de la medición realizada entre la fase A y B (V),  $V_{AC}$  es el valor de la medición realizada entre la fase A y C (V),  $V_{BC}$  es el valor de la medición realizada entre la fase B y C (V) y Max representa el voltaje máximo determinado en cualquiera de las líneas analizadas (V).

Posteriormente se calculó el % de desbalance de tensión de línea, en los dos circuitos. El desbalance de tensión o corriente (es cuando hay diferencia entre las tensiones de línea) y se define como la máxima desviación de la tensión o

la corriente de una de las fases con respecto al valor promedio de la tensión o de la corriente de las fases de un sistema, dividido entre el promedio de las tensiones o corrientes, expresados en por ciento. El desbalance también se define usando las componentes simétricas. Dentro de ellos tenemos, Los desbalances severos, superiores al 5 % y Las causas del desbalance de tensión pueden ser varias e incluso combinarse <sup>13</sup>.

También se consideró la variación porcentual de voltaje que (es cuando existe diferencia entre la tensión de operación y la tensión nominal) y se define como: La máxima desviación o variación del promedio de la tensión de las tres fases, dividido entre el valor nominal de la tensión, expresados en por ciento <sup>13</sup>.

Los problemas de desviación en el voltaje se dan por descargas eléctricas cuando entran o sale un motor de elevado consumo (compresores, bomba) cuando el factor de potencia está o muy alto o muy bajo y porque los transformadores entreguen más voltajes al estar recibiendo más voltaje por el primario. La variación porcentual de la tensión se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$.Variación\ de\ Voltaje\ \% = \left[ \frac{V\ Promedio}{V\ Nominal} - 1 \right] \times 100\ \% \quad (2.3)$$

Con ayuda de la Figura 1.1, se puede apreciar el porcentaje de afectación que sufren cuatro parámetros principales de motores asíncronos, como son: La eficiencia, el factor de potencia, la corriente y las revoluciones por minuto (RPM) con respecto al porcentaje de las variaciones de tensión en la línea de alimentación de los mismos.



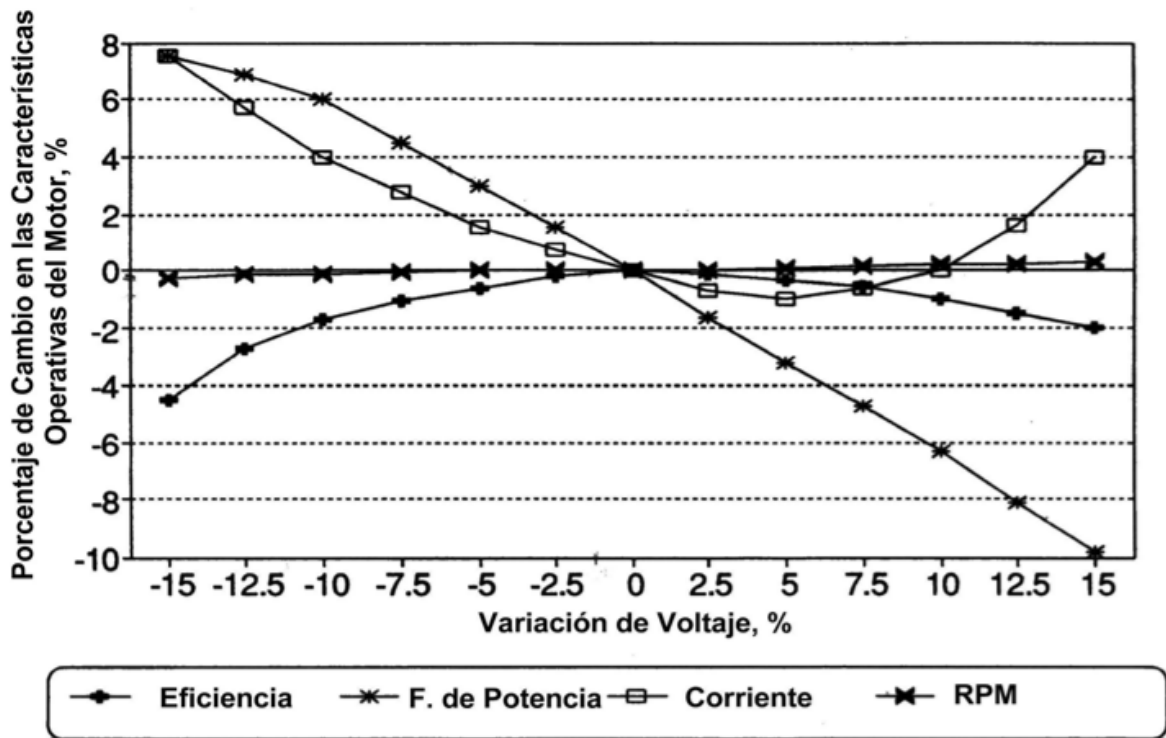


Figura 1.1. Afectaciones en la eficiencia, factor de potencia, velocidad y corriente en función del porcentaje de la variación de tensión.

En esa figura 1.1, se muestran detalles importantes relativos a las variaciones en el factor de potencia, la velocidad y la corriente. Independientemente de la afectación sobre la eficiencia y otros parámetros de operación, las normas establecen los límites de variación de tensión permisible para la operación de los motores. Así, la NEMA fija un  $\pm 10\%$  y la IEC un  $\pm 5\%$  para operación continua (y hasta un  $\pm 10\%$  en períodos limitados de tiempo), en condiciones de frecuencia nominal <sup>13</sup>.

**Para corregir la variación de tensión se realizaron ajustes en las instalaciones eléctricas de la industria tales como:**

- Se verificó la tensión entre el transformador y el alimentador de los motores. En caso de existir una caída de tensión superior al 5 %, se incrementó el calibre del conductor.
- Como que el factor de potencia era bajo en ocasiones menor a 80 % en las líneas de alimentación a los motores, se procedió a compensarse el reactivo hasta lograr un valor de al menos el 90 %, para reducir la caída de tensión.

- En los casos que la desviación de tensión era superior o inferior a la alimentación de los motores, se analizó y se llevó a cabo un ajuste de los “taps” o derivaciones de los transformadores, para aproximar la tensión al valor nominal del motor.

Por los cálculos que se obtuvieron era inminente realizar un balance de carga en los dos sistemas.

Un factor determinante en el deterioro de la calidad de la energía eléctrica es el factor de potencia. Energéticamente hablando, el factor de potencia (fp) es la relación entre la potencia activa (P) (que produce trabajo en la carga expresado en kW) y la potencia aparente del circuito que es el divisor, donde (V) es el voltaje expresado en Vol y (I) es la corriente expresada en Amperes<sup>13</sup>.

$$\cos \varphi = fp = \frac{P}{\sqrt{3}VI} \quad (2.4)$$

Una instalación industrial común pudiera tener un factor de potencia por debajo de 0.9, la UEB. Industria la Coloma lo tenía igual a 0.84. Este bajo factor de potencia se debe a la presencia de motores asíncronos subcargados, el uso de convertidores electrónicos para el suministro de corriente directa, la utilización de dispositivos de inducción, de unidades de climatización, y el empleo de lámparas fluorescentes. En la medida en que la planta está más motorizada, puede esperarse un empeoramiento del factor de potencia, a menos que se tomen medidas correctivas<sup>13</sup>.

Un bajo factor de potencia provoca un incremento de la corriente, esto significa energía eléctrica desperdiciada y afecta a la adecuada utilización del sistema eléctrico.

El mejoramiento del factor de potencia en la industria o los servicios, sólo puede ser alcanzado a través de la correcta combinación de diferentes medios para su elevación, cada uno de los cuales debe ser técnica y económicamente fundamentado. Según<sup>13</sup> “Los medios para la elevación del factor de potencia pueden ser considerados dentro de los grupos generales siguientes:

- a) Reducción del consumo de potencia reactiva, sin la aplicación de medios compensadores.
- b) Con la aplicación de medios compensadores.”

En esta investigación se aplicaron ambos, debido a los resultados arrojados en el análisis anterior del porcentaje de desbalance de línea de los circuitos.

Al aplicar el método de reducción del consumo de potencia reactiva, mejoró el desbalance de voltaje de línea en los circuitos, más, el factor de potencia continuaba deteriorado, por lo que se recurrió a la aplicación de medios compensadores, que consistió en la corrección del banco capacitor existente precisando de los siguientes cálculos.

Cálculo del banco de capacitores (un mes 2008 en línea de langosta)

$$kVA_{rc} = kW_{prom} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2.5)$$

Donde ( $kVA_{rc}$ ) va a ser kilo. Vol. Amperes. reactivo, ( $\tan \varphi_1$ ) es el ángulo en la cual el coseno se refiere al factor de potencia actual del sistema eléctrico, ( $\tan \varphi_2$ ) es el ángulo en la cual el coseno se refiere al factor de potencia que pretendemos obtener en el sistema eléctrico de la industria.

Por consiguiente, al tener calidad garantizada en la energía eléctrica, se dispuso la búsqueda de consumos innecesarios para lograr disminuir los gastos en divisas de la industria. Todo indicaba que las nuevas acciones debían estar dirigidas al estudio de los motores de mayor consumo acoplados al circuito eléctrico industrial en estudio, en especial al sistema de refrigeración. La eficiencia de un motor mide la conversión de la energía eléctrica en trabajo útil. La energía eléctrica que se pierde se convierte en calor. Para aumentar la eficiencia es preciso reducir las pérdidas ocasionadas por estos equipos imprescindibles para la industria. Para lograr un óptimo aprovechamiento de la potencia y una operación eficiente de los motores eléctricos es preciso tener en cuenta algunos parámetros que son medibles y calculados como el factor de voltaje armónico que no debe exceder de 0,05, no se admite un desequilibrio de tensión superior al 2 %. En consideración, se tomó la medición de la potencia de entrada o en su defecto la tensión, la corriente y el factor de potencia promedio de las tres fases.

Las siguientes ecuaciones (2.6; 2.7; 2.8) se refieren al cálculo de la potencia de entrada para determinar la eficiencia operacional y el estado de carga de un motor eléctrico:

$$kW_{ENTRADA} = \frac{\sqrt{3} V_{PROM} I_{PROM} \cos \varphi}{1000} \quad (2.6)$$

Donde ( $I_{prom}$ ) es la corriente de entrada, ( $\cos \varphi$ ) factor de potencia.

Se calcula la potencia de entrada nominal ( $kW_{ENTRADA\ NOM}$ ) por.

$$kW_{ENTRADA\ NOM} = \frac{kW_{SALIDA\ NOM}}{\eta_{NOM}} \quad (2.7)$$

5)  $\eta_{NOM}$ ) Eficiencia del motor expresada en %

Se calcula el factor de carga (% FC) como.

$$\% FC = \frac{kW_{ENTRADA}}{kW_{ENTRADA\ NOM}} \times 100 \quad (2.8)$$

Después de haber efectuados los cálculos respectivos a los ocho motores de interés, es natural que se considerase también algunos aspectos relacionados con los transformadores que alimentaban los circuitos de la industria pues es importante aproximar la tensión al valor nominal del motor. En la industria sucedía que los bancos de transformadores no suministraban los mismos valores de tensión o voltaje, esto era un inconveniente para la conexión en paralelo de los mismos, por lo que se recurrió a los cambios de los taps en el devanado primario de los tres transformadores. También sucedía que el ángulo de defasaje no era el mismo en los tres transformadores de tal forma se necesitó corregir a  $120^0$  el vector de ángulo en el transformador de 1000 kVA con respecto a los dos de 630 kVA, posterior a esto se corrige el vector del ángulo de giro para de esta forma conectar le red al sistema eléctrico. Con estas acciones, más lo relativo a la reconexión de la red de entrada, se logró de forma inmediata, que la industria no sufriera interrupción por motivos de roturas en alguno de los transformadores que la alimentan. Es obvio que, el haber quedado en paralelo los tres transformadores que alimentan el circuito eléctrico, favorece una mayor autonomía.

Después de haber realizado el estudio de la calidad de energía, se procede a un análisis de la cantidad de toneladas equivalente de petróleo (TEP) por

unidades de potencia eléctrica activa (MW) consumida en la industria de La Coloma, a través de la siguiente expresión:

$$\text{TEP} = \text{MW} \times 0.3328 \quad (2.9)$$

Este valor numérico representa el consumo de combustible equivalente en el año 2011 expresado en toneladas por cada MW de potencia eléctrica consumida, según fuente de referencia bibliográfica consultada, "Datos básicos para los estudios de factibilidad de INVERSIONES CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA Y EFICIENCIA ENERGETICA Plan 2013".

## **CAPÍTULO III. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.**

### **3.1 Confección del esquema unifilar monolineal de la red de alimentación del Circuito Industria.**

Se confecciono el esquema unifilar monolineal real de la red eléctrica industrial que actualmente existe en la fábrica, para de esta forma, tener una referencia de todas las características técnicas del circuito, facilitando así las acciones de reparación, ampliación o transformación que en un futuro se quieran aplicar, además, como un medio imprescindible de enseñanza en la capacitación que se debe concebir para el personal que opera el sistema (ver anexo 2). Las transformaciones realizadas en el circuito eléctrico industrial se destacan en el anexo citado en líneas continuas de color rojo.

### **3.2 Resultado del estudio en los transformadores y la red de distribución.**

Con el estudio de los transformadores se logró un valor óptimo de voltaje y corriente, en la tabla 3.1 se puede observar los valores de voltajes relativos a las lecturas realizadas con los equipos de medición antes de los cambios y después de los cambios realizados, estas lecturas fueron tomadas en todo los casos con la industria en marcha.

Tabla 3.1 Comportamiento del voltaje.

<b>Parámetros</b>	<b>Anterior al cambio</b>		<b>Posterior al cambio</b>
<b>Voltaje de línea</b>	<b>Planta de hielo</b>	<b>Línea langosta</b>	<b>Circuito Industria</b>
<b>AB</b>	448 V	427 V	478.02 V
<b>AC</b>	457 V	435 V	476.71 V
<b>BC</b>	450 V	420 V	478.17 V

En la tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos mediante las fórmulas 2.1 a la 2.3, considerando los valores tabulados en la tabla 3.1, dando como resultado el desbalance de las tres líneas y la variación de voltaje en los distintos circuitos.

Tabla 3.2 Desbalance y variaciones de voltaje.

Parámetros	Anterior al cambio		Posterior al cambio
	Planta de hielo	Línea langosta	Circuito Industria
<b>Desbalance</b> línea AB	-3.70%	- 0.30%	0.39%
<b>Desbalance</b> línea BC	5.40%	7.80%	- 0.92%
<b>Desbalance</b> línea BC	-1.68%	-7.43%	0.54%
<b>Variación de voltaje</b>	-5.9%	-10.9%	- 0.49%

Además se logró una mejor disponibilidad de operación de la industria facilitando el estudio de los bancos capacitares, que según cálculos realizados:

$$kW_{prom} = 315.4 \text{ kW} \quad (3.1)$$

$$\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 = 0.380 \quad (3.2)$$

Según la tabla de corrección del factor de potencia.

$$\text{Valor del banco} = 315.47 \times 0.380 = 119.88 \text{ kVA}_{rc} \quad (3.3)$$

Se pudo disponer la compra de los capacitares acordes al resultado calculado, se montaron y acoplaron al sistema lográndose una mejora del factor de potencia superior a 0,92, un valor muy favorable que implicó calidad en la energía eléctrica, disminución del índice de potencia reactiva, el cese de penalizaciones y la bonificación relativa a la mejora cualitativa obtenida.

También, al existir un fallo en la red se simplifica la entrada de los grupos electrógenos, registrándose esta en un tiempo aproximado de diez segundos, contra los veinte minutos antes de los cambios. La salida de estos grupos actualmente es instantánea y anteriormente demoraba veinte minutos más, esto sin duda alguna provocaba una interrupción en el proceso industrial traduciéndose en una marcada pérdida económica y energética. Si se analiza, entre la entrada y salida de los grupos electrógenos, se perdían cuarenta

minutos equivalentes a una tonelada de producción, causando además, molestias al personal que trabajaba directo en el proceso productivo industrial. En lo concerniente al circuito eléctrico de la industria se eliminaron: pérdidas por calentamiento en la red de distribución al tener conductores eléctricos por debajo de la carga instalada, falsos contactos, desbalance de fases (ver tabla 3.2) y se estabilizaron las condiciones de voltaje (ver tabla 3.1).

De vital importancia fue el rediseño de las rutas del cableado, pues esto disminuyó pérdidas de energía eléctrica por distancia y posibilidad de accidentes en el personal que opera el sistema.

Posteriormente Efectuados los cálculos respectivos a los ocho motores de interés, se pudo comprobar la existencia de motores subcargados lo que implicó tomar la decisión de cambiar cinco motores por otros que estuviesen acorde con la carga a mover y reconectar el bloque de conexión o los devanados de tres motores que presentaban un nivel de carga inferior al 50 %, aportando como resultado una disminución de la energía a consumir los mismos y favoreciendo al factor de potencia de la industria.

### **3.3 Mejora del factor de potencia y su consecuencia económica.**

En lo que respecta al factor de potencia posterior a los cambios sus valores fueron los esperados, implicando reducción de la potencia reactiva y cese de las penalizaciones por concepto de deterioro del mismo. En la siguiente tabla 3.3 se muestran los valores de diferentes parámetros relativos a la energía eléctrica y a la economía industrial, estos, en el caso de análisis antes del cambio, son producto de promediar los resultados registrados entre los años 2007 al 2009 y después del cambio se registra solo el 2012.

Los datos del factor de potencia fueron obtenidos a través de la factura eléctrica y algunos cálculos de verificación realizados a través de la fórmula 2.4, los parámetros siguientes como son potencia reactiva, penalizaciones y bonificaciones fueron extraídos de las facturas eléctricas.



Tabla 3.3 Comportamiento energético e implicaciones económicas.

Parámetros	Anterior al cambio		Posterior al cambio
	Planta de hielo	Línea langosta	Circuito Industria
<b>Factor de potencia</b>	0,91 %	0,84 %	0,93
<b>Potencia reactiva</b>	1 963 829 kVAr		99 311 kVAr
<b>penalizaciones</b>	3728,23 CUC		0
<b>Bonificaciones</b>	44,47 CUC		14 374,90 CUC

Haciendo una valoración después de todas las transformaciones descritas en esta tesis, se pudo constatar que la potencia total consumida después del cambio es inferior con relación al promedio de consumo antes del cambio en el orden de 569196 kWh significando, que la producción después del cambio superó a la producción promedio antes del cambio en el orden de 885.3 t. En la tabla 3.4 se describen estos resultados. En detalles por meses se presenta en la figura 3.1 el consumo en kWh por años y la producción en kg respectivamente. El significado económico de estos resultados es incuestionable, eso sin obviar el impacto ambiental pues se estima que: “por cada kilowatt utilizado, se vierte 1 kg. de CO<sub>2</sub> a la atmósfera”<sup>16</sup>.

Tabla 3.4 Consumo de energía eléctrica total.

VARIABLES.	Promedio antes del cambio años (2007-2009)	Después del cambio año 2012	Diferencia
Potencia total consumida	4 014 152 kWh	3 444 956 kWh	569 196 kWh
Producción total en toneladas.	8 823 t	9 708.3 t	885.3 t

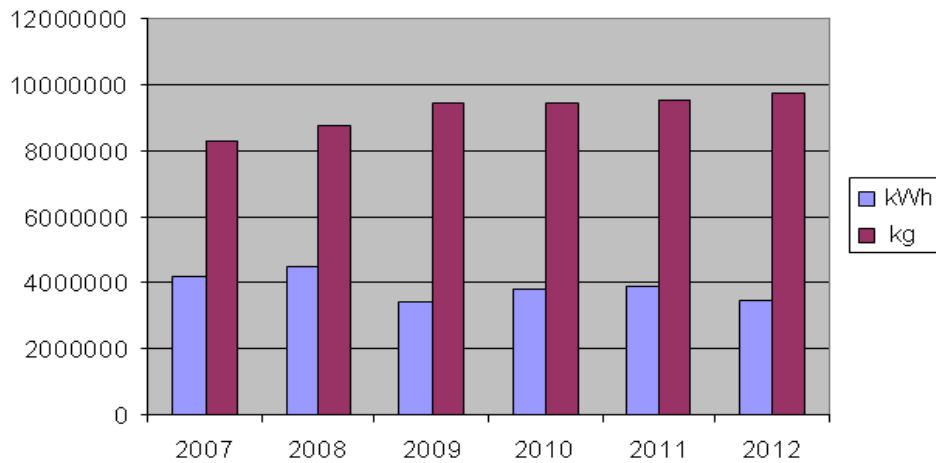


Figura 3.1 Gasto energético (kWh.) y producción (kg) por años.

En la tabla 3.5 se resume de forma explícita el comportamiento de varios parámetros que fueron cambiando por años, en función de las transformaciones aplicadas y perfeccionadas en la práctica relativa a esta investigación. En esta evolución funcional las variables dependientes (parámetros) y las independientes (cambios) describen un resultado favorable de cara al ahorro de energía eléctrica y economía, dando a la industria una mayor eficiencia económica y productiva.

Tabla 3.5 Parámetros industriales de interés.

Parámetros	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Max demanda promedio kWh	989	1058	669	646	491	353
Pérdidas transformación kWh	64057	65295	61810	61557	61900	58956
Consumo total kWh	4148912	4502190	3391355	3801557	3868900	3444956
Penalizaciones \$ CUC	9129,88	7775,09	8447,00	0	10382,4	0
Bonificaciones \$ CUC*	-1888,41	-7908,50	-5485,75 3 meses	-1465,70 1 mes	0	-14374,9
Potencia reactiva kVAr	1991380	1936278,00	84926,93	1829139	1888000	999311
Producción total t	8293.6	8765.2	9416	9450.25	9512.00	9708.3

\*El signo negativo en las bonificaciones significa que este dinero se rebaja en la factura eléctrica al tener un factor de potencia por encima de 0.92.

Como se puede observar en esta tabla 3.5 la máxima demanda, las pérdidas por transformación, y el consumo total, se comportaban directamente proporcional con el aumento de la producción hasta el año 2008, al ocurrir los cambios en el año 2009 este comportamiento se invierte, la producción sigue en aumento y los parámetros de energía comienzan a disminuir hasta el 2012. En el caso de las penalizaciones y las bonificaciones estas dos dependen de la potencia reactiva y se mantuvieron oscilantes hasta el 2011 por varias razones:

1. Se estaban realizando cambios tecnológicos.
2. Incorporación de nuevas tecnologías en este circuito eléctrico lo que implicaba un aumento de cargas instaladas y nuevos cálculos del banco de capacitores.
3. Necesidad de algún recurso no existente en el país.

Los resultados que aparecen en la tabla 3.6 representan una conversión de energía eléctrica consumida desde el año (2008 - 2012) a toneladas equivalentes de petróleo (TEP) auxiliándonos de la fórmula (2.9).

Tabla 3,6 Conversión de energía eléctrica a TEP

Parámetros	Factor de Conversión TEP/MWh	TEP 2008	TEP 2009	TEP 2010	TEP 2011	TEP 2012
Pérdidas transformación kWh	0,3328	21,73	20,57	20,49	20,60	19,62
Consumo total kWh	0,3328	1498,33	1128,64	1265,16	1287,57	1146,48

La tabla 3.7 representa los ahorros de TEP por año después de los cambios tomando como patrón el año 2008 por ser el año que más consumo existió ante de los cambios y comparándolo con los restantes año hasta el 2012.

Tabla 3.7 Ahorros de TEP por año después de los cambios.

parámetros	Ahorro 08-09 TEP	Ahorro 08-10 TEP	Ahorro 08-11 TEP	Ahorro 08-12 TEP	Ahorro total TEP	Ahorro total TEP
Pérdidas transformación kWh	1,16	1,24	1,13	2,11	5,64	1171,11
Consumo total kWh	369,69	233,17	210,76	351,85	1165,46	

TEP = TCC

TCC toneladas combustible convencional

## **CONCLUSIONES.**

- En el período de tiempo comprendido entre los años 2009 y 2012 se redujo en un 60 % la frecuencia de averías en la tecnología eléctrica industrial de la UEB La Coloma.
- Con las acciones tomadas después de los cambios generados por esta investigación se logró un ahorro de 569 196 kWh, representando en combustible equivalente 1171,11 TEP. aun cuando la producción fue superior en 885.3 t.
- Se Redujo el gasto de la industria por concepto de pago relativo al consumo eléctrico, recibiendo una bonificación de \$ 14 374,90 CUC sin vestigio alguno de multas por deterioro de la calidad de la energía eléctrica.

## **RECOMENDACIONES.**

- Introducir avances tecnológicos en la UEB La Coloma en materia de análisis energético, como puede ser un sistema supervisor automático de energía en tiempo real, soportado en ordenador, que gestione los gastos de forma sectorizada y procese los índices de producción de las diferentes líneas de producción existentes.
- Automatizar los bancos de capacitores de la red de alimentación eléctrica del circuito Industria la Coloma.
- Instrumentar una capacitación técnica a los operadores del sistema energético industrial.
- En estudios futuros se considere el nivel de carga instalado a los bancos de transformadores que alimentan la red eléctrica industrial.

## **BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA.**

1. [http://sky.net.co/energia/E\\_01\\_audito.PDF](http://sky.net.co/energia/E_01_audito.PDF), 2001, consultada 3 de Noviembre 2012.
2. Pérez, A. Gestión energética empresarial en el frigorífico de Consolación del Sur primera etapa. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en energía. UPR. 2008.
3. Reyes, E. Aplicación de un filtro activo de corriente para mejorar la calidad de la energía en un sistema eléctrico industrial. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol .XI. Núm.4. México. 2010.
4. Carpio, C. Situación y Perspectivas de la Eficiencia Energética en America Latina y el Caribe. Reunión Regional Intergubernamental de la CEPAL. Impreso en Naciones Unidas Santiago de Chile. 2009.
5. Pita, P.E. Propuesta de un paquete de medidas para el mejoramiento de la eficiencia energética en la UEB Base de Equipos y Talleres de la Empresa de Materiales de Construcción de Pinar del Río. Tesis en opción al Título de Ingeniero Mecánico. UPR. 2011.
6. López. Guía de Ahorro Energético en Instalaciones Industriales. Madrid. 2006.
7. Jornet, A. Motores de alta eficiencia. capítulo 6. Guía de Ahorro Energético en Instalaciones Industriales. Editada por el Centro de Ahorro y Eficiencia Energética de Madrid. 2006.
8. Rodríguez, N. Diseño de un Nuevo Sistema de Gestión Energética. Tesis para obtener el grado de master en Ingeniería Eléctrica. ISPJAE. 2004.
9. Delgado, A.A. Estudio Energético en la Empresa TERREF. Tesis de grado. 2001.
10. Gómez, R. Determinación de las causas de deterioro de la eficiencia energética en el sistema de refrigeración de la Industria Pesquera de la Coloma. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en energía. UPR. 2010.
11. Hernández, L. Análisis de la eficiencia energética del proceso de producción de refrescos en la fábrica "Orlando Nadarse Verde" de Pinar del Río. Tesis en opción al Título de Ingeniero Mecánico. UPR. 2011.

12. Pedrera, R. M. Reducción del consumo de energía eléctrica en la Empresa Eléctrica Pinar del Río. Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en energía. UPR 2009.
13. Viego Felipe, P. Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. MES. Red de Eficiencia Energética. 2006.
14. Viego Felipe, P. Uso Final de la Energía Eléctrica. Centro de estudio de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. 2007.
15. Resolución Número 28 del 2011. Ministerio de Finanzas y Precios.
16. Mazorra, S. Gestión Electroenergética. Folleto editado en el CIPEL. 2000.



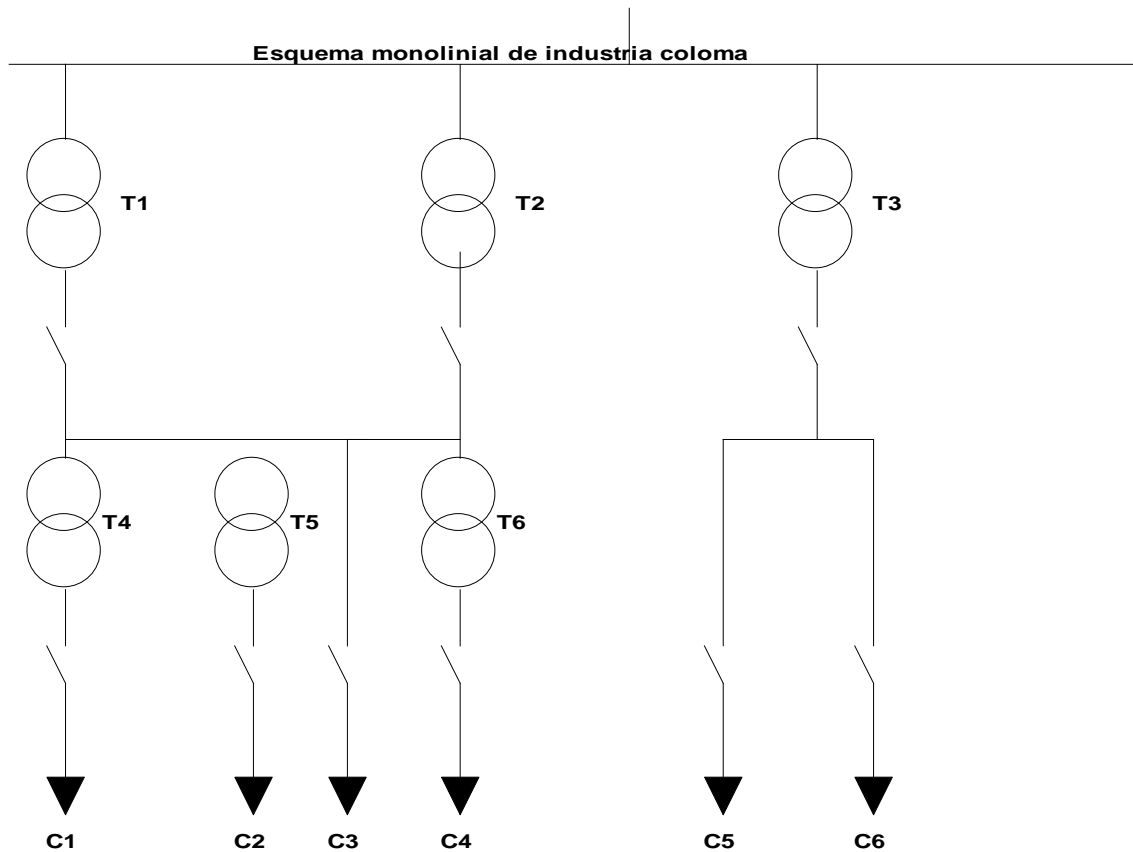
## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.**

1. Atanasi, J. Motores de alta eficiencia. Guía de Ahorro Energético en instalaciones industriales. Editorial de Ahorro y Eficiencia Energética de Madrid.2006.
2. Código Electrónico Cubano. Parte 1. Baja Tensión 2011.
3. Colectivo de Autores. Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios. Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos Cuba. 2006.
4. Colectivo de autores. “Gestión energética empresarial” CEEMA 2002.
5. Gómez, J. C. Tipo de conexión del transformador de interconexión. DÉCIMO TERCER ENCUENTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ. Argentina. 2009.
6. Montané, J. Estado actual del diagnóstico de transformadores de potencia en las centrales eléctricas cubana. Ingeniería Energética. Vol 22 #1. 2011.
7. Morales, V. I. Descargas Parciales en transformadores y Maquinas Rotatorias [en línea]. Disponible en: [www:http://patricioconcha.ubb.cl/seminario\\_descargas\\_parciales/home.htm](http://patricioconcha.ubb.cl/seminario_descargas_parciales/home.htm) . Consultado el 15 de Octubre del 2012.
8. Viego Felipe, P. Ahorro de energía en sistemas de suministro eléctrico industrial. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. 2002.
9. Roelof, T. Optimización del rendimiento durante la vida útil de motores. Revista ABB número 2. Finlandia. 2007.
10. Sandoval, R. A. “Gestión energética en la industria”. Artículo. Disponible en <http://www.cenytec.com>. Consultado el 10 de Septiembre del 2012
10. Tsatsaronis G, Cziesla F. Thermoconomics. In: Meyers Robert A, editor. Encyclopedia of physical science and technology, energy. 3rd ed. Academic Press; 2002.
11. Kanoglu, M, Dincer I, Rosen MA. Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants. Energy Policy 2007.

12. Kapudere, I., Dilmac, O.F., Bolat, E. Energy and exergy analyses of a cogeneration plant. In: Proceedings of the 2nd international exergy, energy and environment symposium (IEEES2). July 3-7. Greece 2005.
13. <http://www.es.scribd.com/doc/126623172/Indices-Energeticos-para-Estudios-de-Factibilidad-2012-2> consultado 4 de Enero 2013.

## ANEXOS.

### Anexo 1 Esquema unifilar monolineal simplificado de la red de alimentación eléctrica del circuito Industria Coloma.



T1 y T2: Banco de transformadores  $3\emptyset$  2 x 630 kVA - - 13.2 kV – 0.480 / 0.277 kV alimenta industria y una parte de planta de hielo. Carga máxima real instalada 1087 kW.

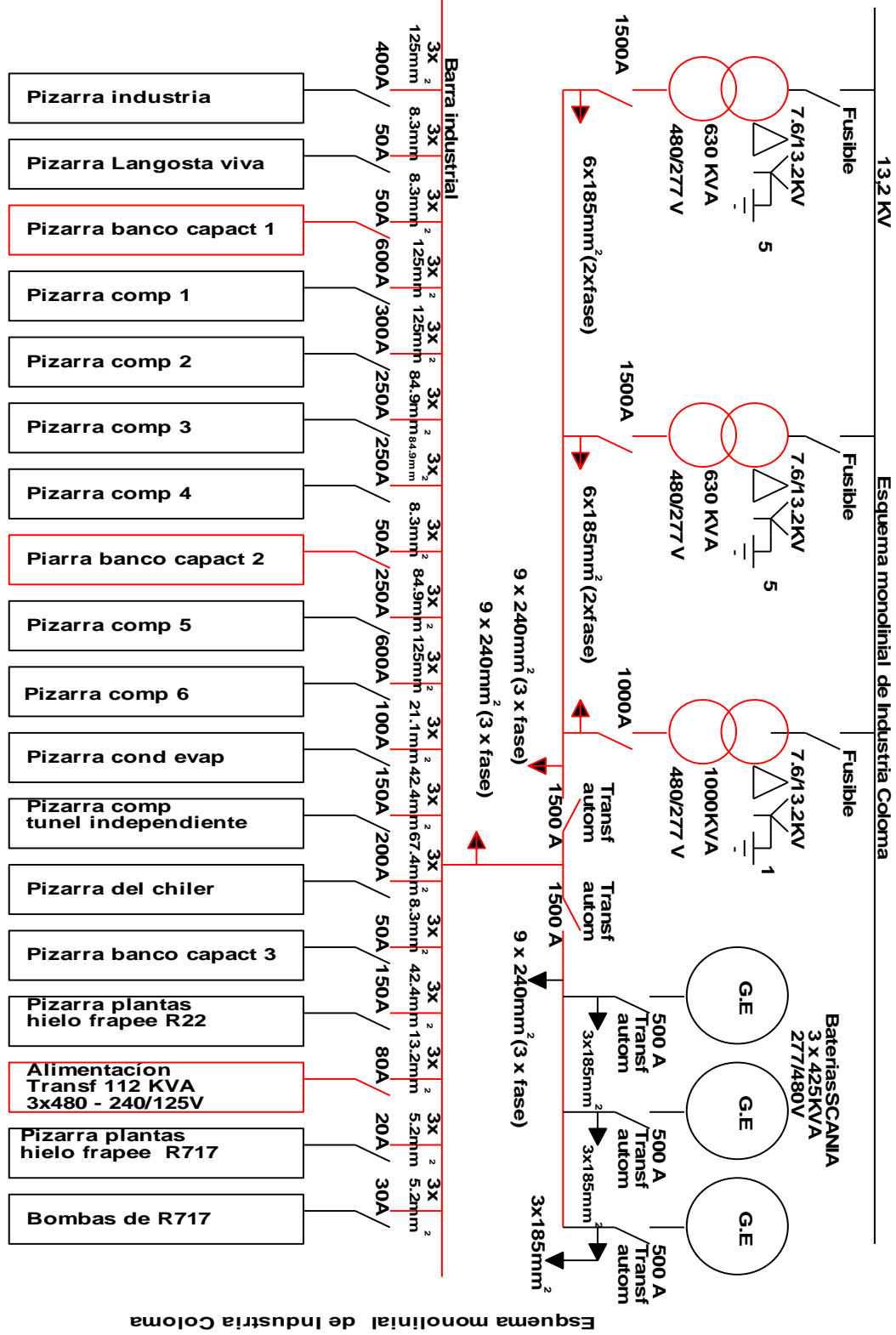
T3: Banco de transformadores  $3\emptyset$  1 x 1000 kVA - - 13.2 kV – 0.480 / 0.277 kV alimenta Langosta y una parte de planta de hielo. Carga máxima real instalada 750 kW.

T4: Banco de transformadores  $3\emptyset$  3 x 37.5kVA - - 0.480kV – 0.240 / 0.120 kV alimenta equipos de la industria.

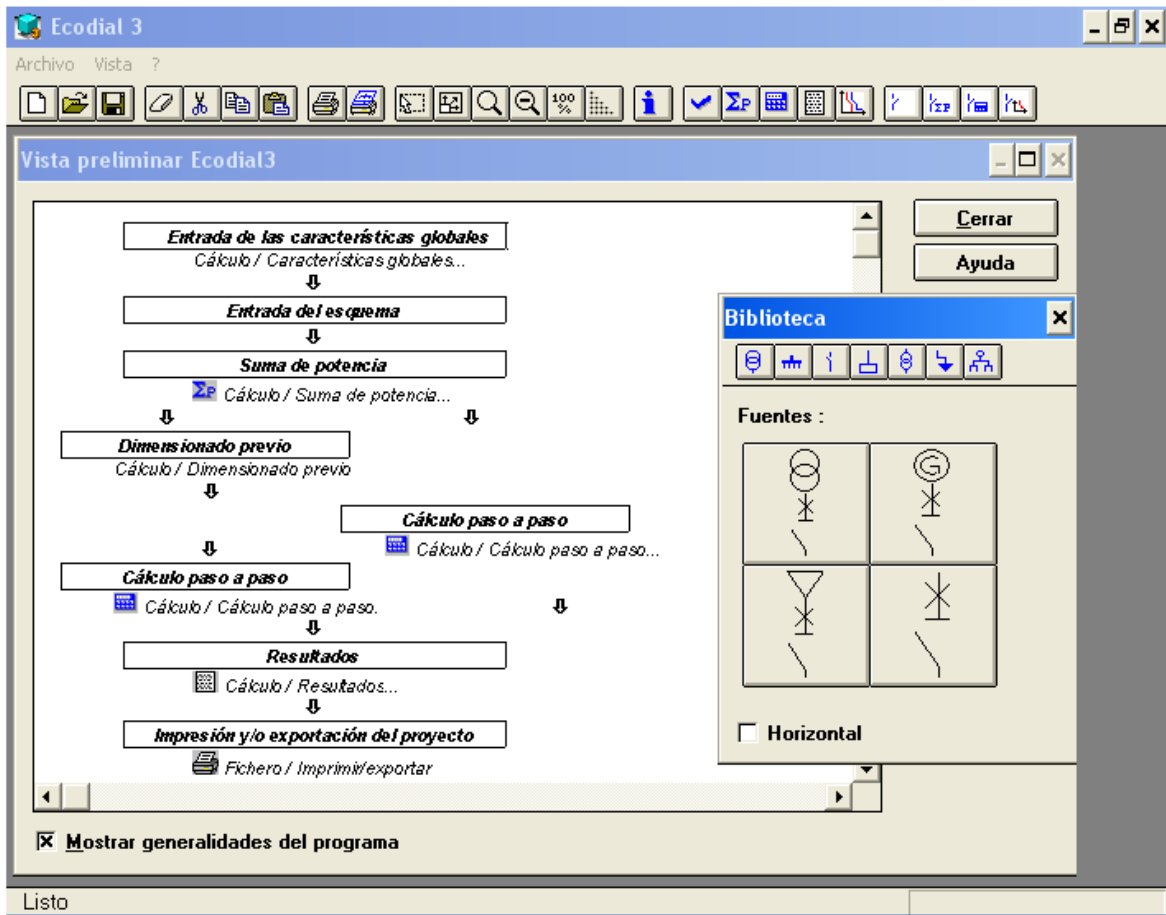
T5: Banco de transformadores  $3\emptyset$  3 x 37.5kVA - - 0.480kV – 0.240 / 0.120 k V alimenta alumbrado de la industria.

T6: Banco de transformadores  $3\emptyset$  3 x 37.5KVA - - 0.480KV – 0.240 / 0.120 K V alimenta comedor.

## Anexo 2 Esquema unifilar monolineal real del. Circuito Eléctrico Industria Coloma.



## Anexo 3 Software ECODIAL para el diseño del esquema unificar monolineal.



**Anexo 4: Tabla de algunos datos adquiridos por el analizador de redes en el Circuito Eléctrico Línea de Langosta en Industria Coloma ante de los cambios.**

LANGOSTA 23/10/2008 11:30:00 > 27/10/2008 13:17:19						
Fecha	Hora	PF	PF	PF	PF	Hz
		L1	L2	L3	S	S
23/10/2008	11:30:00	0,96	0,988	0,956	0,968	60,03
23/10/2008	11:45:00	0,989	0,986	0,969	0,98133333	42,12
23/10/2008	12:00:00	0,858	0,915	0,735	0,836	59,99
23/10/2008	12:15:00	0,726	0,682	0,495	0,63433333	59,99
23/10/2008	12:30:00	0,749	0,689	0,413	0,617	47,91
23/10/2008	12:45:00	0,852	0,823	0,315	0,66333333	60,02
23/10/2008	13:00:00	0,922	0,944	0,453	0,773	59,96
23/10/2008	13:15:00	0,881	0,924	0,243	0,68266667	60,07
23/10/2008	13:30:00	0,91	0,95	0,333	0,731	51,77
23/10/2008	13:45:00	0,913	0,942	0,33	0,72833333	59,96
23/10/2008	14:00:00	0,767	0,887	0,079	0,57766667	60,02
23/10/2008	14:15:00	0,745	0,882	0,047	0,558	59,91
23/10/2008	14:30:00	0,655	0,83	0,019	0,50133333	59,92
23/10/2008	14:45:00	0,652	0,827	0,006	0,495	45,4
23/10/2008	15:00:00	0,718	0,87	0,004	0,53066667	60
23/10/2008	15:15:00	0,477	0,514	-0,078	0,30433333	60,07
23/10/2008	15:30:00	0,9	0,936	0,78	0,872	59,95
23/10/2008	15:45:00	0,894	0,89	0,85	0,878	59,91

## Anexo 5 Imágenes de acciones realizadas en el acto de medir en las PGD.

### Verificación de la Tensión Eléctrica

---



Medir: RS, RT, ST ó AB, AC, BC

Verificar:

- Desequilibrio de Fases (debe ser menor 2%);
- Sub & Sobre-tensión ( $\pm 10\%$ );

### Verificación de la Corriente Eléctrica

---



Medir la Corriente Eléctrica en las 03 fases: R,S,T ó A,B,C

Verificar si los valores de corriente nominal son iguales