



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ"
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA

*Título: Análisis del Sistema Eléctrico de la Empresa de
Envases de Aluminio de Holguín.*

Autor: Sandy Rosales Cuenca.

Tutor: Israel Letusé Velázquez

ENIVAL

Año 52 de la Revolución.

Moa-2010

ENVASES DE ALUMINIO



Agradecimiento

A todos los que de una forma o otra hicieron posible la realización de este trabajo.



Dedicatoria.

A todos los que realmente me quieren de todo corazón.

Pensamiento



“Es preciso caminar hacia el futuro, con paso firme y seguro, porque sencillamente no tenemos derecho a equivocarnos”.

Raúl Castro Ruz.



RESUMEN

La presente investigación titulada: " **Análisis del Sistema Eléctrico de la Empresa de Envases de Aluminio de Holguín** ", se realizó con el objetivo de proponer medidas para el uso racional de la energía eléctrica de ENVAL. La misma esta estructurada en introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el primer capítulo se estableció el marco teórico y metodológico de la investigación, lo cual constituye el sustento teórico – metodológico de la investigación y representa el punto de partida para el desarrollo de la misma.

En el segundo capítulo se realizó un proceso de diagnóstico dividido en dos etapas para conocer el régimen de operaciones del sistema eléctrico. En la primera de las etapas, se actualizaron los diagramas monolineales, en la segunda etapa se realizaron mediciones para conocer el consumo de potencia activa, reactiva y el comportamiento del factor de potencia.

En el tercer capítulo, después de conocer las causas que influyen negativamente en la eficiencia eléctrica de la empresa se propusieron alternativas para su mejora, las cuales fueron avaladas técnicas y económicamente brindando resultados tangibles en cuanto a pequeñas inversiones iniciales a corto período de amortización.

SUMMARY

The present titled investigation: " Analysis of the Electric System of the Company of Containers of Aluminum of Holguín", he/she was carried out with the objective of proposing measures for the rational use of the electric power of ENVAL. The same one this structured in introduction, three chapters, summations, recommendations and annexes.

In the first chapter the theoretical and methodological mark of the investigation settled down, that which constitutes the theoretical sustenance - methodological of the investigation and it represents the starting point for the development of the same one.

In the second chapter he/she was carried out a diagnosis process divided in two stages to know the régime of operations of the electric system. In the first of the stages, the diagrams monolineales were upgraded, in the second stage they were carried out mensurations to know the consumption of active power, it reactivates and the behavior of the power factor.

In the third chapter, after knowing the causes that influence negatively in the electric efficiency of the company they intended alternatives for their improvement, those which. they were endorsed technical and economically offering tangible results as for small initial investments to short period of paying-off.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
CAPÍTULO I	3
Marco Teórico - Metodológico de la Investigación	3
1.1. Introducción	3
1.2. Fundamentación Teórico – Metodológico	3
1.3. Revisión de los Trabajos Precedentes	4
1.4. Base Teórica de la Investigación	6
Conceptos Básicos	7
Herramientas de trabajo	8
1.5. Conclusiones	20
CAPÍTULO II	21
Diagnóstico Energético del ENVAL	21
2.1 Introducción	21
2.2 Caracterización del Flujo del proceso tecnológico y Sistema Eléctrico	21
2.3. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico	24
2.4. Conclusiones	40
CAPITULO III	42
Propuesta de Medidas para Mejorar la Eficiencia Energética	42
3.1 Introducción	42
3.2 Propuestas para mejorar la eficiencia energética	42
3.3. Cálculo económico.	47
3.4. Conclusiones	50
Conclusiones	51
Recomendaciones	52
Bibliografía	53
Relación de Anexos	55

Introducción

Mientras que la gestión de la calidad y la gestión ambiental son aceptadas ampliamente en las industrias, el manejo integral de la energía como área gerenciable dentro de una empresa es un concepto todavía poco difundido. Una política energética de la empresa, que sirve para manifestar por escrito una teoría empresarial y principio estratégico, así como para formular directivas energética para la empresa y desarrollar una conciencia para el uso racional de la energía en la empresa.

Una asesoría energética interna, la cual tiene por objetivo respaldar a decisiones y proyectos internos, como por ejemplo la expansión de la producción o la planificación de nuevos edificios o equipos, proceso de reestructuración, etc.

Programas internos de eficiencia energética o bien proyectos individuales destinado a reducir u optimizar el uso de energía en la empresa, como por ejemplo programas de motivación y capacitación de los empleados, programas específico en área definidas de la empresa o análisis detallados de máquinas o equipos. Naturalmente, la gestión energética debe estar estructurada y organizada de acuerdo a la estructura interna de la empresa misma, y debe ser documentada adecuadamente. Aquí es útil recurrir a estructuras probadas y acreditadas como las estructura de la gestión de la calidad (norma ISO 9000) o bien las estructura de la gestión ambiental (ISO 14000) y otros sistemas similares comprobados. Aunque los módulos de una gestión de energía teóricamente podrían implementarse en cualquier momento, solamente un profundo conocimiento de la situación energética de la planta ayuda a reflexionar sobre las estructuras existentes y a implementar un sistema adoptado a las necesidades de la empresa. Por esto, un análisis empresarial es muy recomendable en los inicios de la implementación de un sistema de gestión energética. Este análisis debe abarcar no solamente el aspecto energético-técnico, sino debe comprender también un análisis de la situación de la información y comunicación interna de la empresa.

La Empresa de Envases de Aluminio de la provincia de Holguín (ENVAL) la cual será el objeto de estudio en el presente trabajo, se encuentra ubicada en la carretera a San Germán Km. tres y medio de dicha provincia. Forma un gran bloque industrial junto a empresas como: KTP, Héroes 26 de julio, Hornos de fundición y otros, ubicados relativamente cerca unos de otros.

La fábrica de envases de aluminio es de tecnología europea con una alta automatización, inició su proceso de ajuste y puesta en marcha en junio del 2001. Esta industria fue diseñada para producir 1 millón de latas diarias.

En la actualidad solo se ha logrado alcanzar el 70 % de su producción de diseño en muy contadas ocasiones debido a las averías frecuentes originadas por problemas tecnológicos. La industria utiliza en su proceso la electricidad y el gas como portadores energéticos fundamentales, el consumo de energía eléctrica ha alcanzado los 25 MWh diarios con la producción más alta lograda hasta el momento, y el consumo de gas esta en 2,5 ton diarias.

Bajo estas condiciones la comisión de energía de la empresa considera que se pueden realizar trabajos técnicos y profilácticos dirigidos al ahorro de portadores energéticos. Aunque esta industria se encuentra en la fase de inicio de explotación y conocimiento de su tecnología por parte del personal, además de poseer parte de su equipamiento sin incorporar al proceso productivo, se consumen portadores energéticos sin equivalencia al nivel de producción general de la planta. Determinando donde se producen las pérdidas principales de los portadores y su reserva, entonces se puede proponer un sistema de gestión energética que garantice la equivalencia del consumo y producción. Por lo antes expuesto el objetivo del presente trabajo es:

- Proponer medidas para el uso racional de la energía eléctrica de ENVAL.

La demanda de energía está inducida por una demanda paralela de servicios energéticos tales como el alumbrado, la refrigeración, el transporte entre otros y sí se podía prestar el mismo servicio empleando menos energía, el ahorro de energía en realidad un recurso, de igual categoría que cualquier otra fuente de energía. Por lo tanto, lo que se propone es explotar los “yacimientos del ahorro” a través de la mejora de los hábitos de consumo, la utilización de equipos eficientemente energéticos en todos los sectores de consumo y el mejoramiento de la arquitectura de edificios y viviendas.

CAPÍTULO I

Marco Teórico - Metodológico de la Investigación

Introducción

Fundamentación Teórico – Metodológico

Revisión de los Trabajos Precedentes

Base Teórica de la Investigación

Conclusiones

1.1. Introducción

La fundamentación científica y su organización de la investigación es de extraordinaria importancia para el desarrollo de la misma, la cual tiene como objetivo fundamental proporcionar una metodología que permita crear un diseño teórico, capaz de responder a las exigencias del proceso de investigación. Así también nos permite dejar definidos aspectos básicos como el problema a resolver, los objetivos de la investigación que se realiza y la hipótesis a desarrollar. Con la revisión de los trabajos precedentes se logra una actualización sobre el tema y cómo es tratado por otros especialistas.

1.2. Fundamentación Teórico – Metodológico

La formulación del problema, la justificación o necesidad de la realización de cualquier trabajo que se realice y su propuesta son elementos que deben tenerse en cuenta en su fundamentación teórica. Tomándose en cuenta los objetivos propuestos para este trabajo se consideró una investigación de campo, ya que permite no sólo observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad objeto de estudio. El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores contribuyentes.

Problema

Ineficiencia en el sistema al consumir portadores energéticos sin equivalencia al nivel de producción general de la planta y un gasto excesivo de energía eléctrica.

Hipótesis:

Determinando donde se producen las pérdidas principales de los portadores y su reserva, entonces se puede proponer un sistema de gestión energética que garantice la equivalencia del consumo y producción.

Objetivo:

Proponer medidas para el uso racional de la energía eléctrica de ENVAL

Objetivos específicos:

- Recopilar datos históricos desde la puesta en marcha hasta el 2009.
- Caracterizar el sistema eléctrico y tecnológico de la empresa.
- Proponer medidas técnico-organizativas para mejorar el consumo de los portadores.

1.3. Revisión de los Trabajos Precedentes

La electricidad es uno de los portadores energéticos máspreciado y costoso, por tal motivo, su uso adquiere una importancia especial. La particularidad de ella consiste en la igualdad en el tiempo entre la generación y su consumo, de ahí que el consumidor determine la línea de carga. Con esta revisión pretendemos realizar una recopilación de información de las principales bibliografías consultadas.

Un principio importante, es el uso de los motores con fines de accionamiento para adaptar éstos óptimamente a las máquinas de trabajo. Los motores eléctricos se refieren al tipo de construcción y conmutación del motor, así como a sus magnitudes de potencia. En los controles se detecta que los motores propulsores están dimensionados muy por encima de las máquinas de trabajo.

Los motores sobredimensionados repercuten negativamente sobre el grado de eficiencia, el factor de potencia y por tanto, sobre la economía de la empresa y los costos de la inversión. Todos los equipos eléctricos que en su funcionamiento necesitan campos magnéticos, tienen siempre junto a la potencia eficaz hacia el exterior (potencia eléctrica

efectiva) una potencia necesaria no eficaz hacia afuera para la constitución del campo magnético (demanda eléctrica de potencia reactiva).

García (1985), hace un análisis detallado de cómo incide la potencia reactiva en los sistemas electroenergéticos, este autor hace el mismo análisis de una forma práctica sin tener en cuenta las operaciones matemáticas necesarias para desarrollar el tema.

La potencia reactiva carga a todas las capacidades de generación y transmisión, pues el dimensionado de las instalaciones no tiene que realizarse de acuerdo con la corriente total.

De Quesada (1988), realiza la optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales a través de capacitores, llega a la expresión para obtener los beneficios económicos anuales máximos.

El factor de potencia es la relación de la potencia activa con la potencia reactiva, el mismo caracteriza la correlación de las potencias eficaces activa y reactiva, que constituyen un índice de utilización cualitativa de la energía eléctrica. Mejorar este parámetro es una necesidad económica real. Elevar el factor de potencia al valor cercano a la unidad es una de las grandes tareas de las empresas industriales, utilizando dos vías:

- Medidas que no exijan la utilización de medios de compensación.
- Utilización de los medios de compensación.

Svietlana (1980), profundiza de forma muy acertada en la influencia del factor de potencia en la producción.

Hernández (2000), propone mejorar la eficiencia en los sistemas eléctricos industriales utilizando la programación lineal.

Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas.

Campos, Gómez, Santos(1999), proponen las herramientas básicas y procedimientos para programas de control y mejoramiento de la eficiencia energética en empresas de producción y servicios.

Lo más importante para lograr la Eficiencia Energética de una Empresa no es sólo que tengamos un plan de ahorro de energía, sino que exista un sistema de gestión energética 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 de producción y

consumo en función de la Eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol y en general que integre las acciones al proceso productivo o de servicios que se realiza.

Ponce(2001), Figueroa(2002), realizan un estudio de los portadores energéticos del ISMM y proponen un sistema de gestión energética.

El uso eficiente de la energía representa una serie de importantes beneficios para el país, ya que permite mejorar la competitividad de las industrias, al aumentar la eficiencia de sus procesos y disminuir sus actuales consumos de energía logrando ahorros y reducción de costos de producción, y por otra parte, al utilizar en forma más eficiente la energía, se reduce el consumo de combustibles fósiles, se utilizan de mejor forma los recursos renovables y se generan menores emisiones y calentamiento.

Olvera, Valencia, Estrada (2002), realizan un análisis de la importancia del ahorro de la energía en los sistemas de refrigeración, pues consume un 17% del combustible total de todo el ramo industrial y el 8% de la energía eléctrica.

El proceso para optimizar la gestión energética se inicia con un diagnóstico para evaluar la situación actual, identificando las principales oportunidades de ahorro que posteriormente son objeto de estudios y proyectos específicos.

Básicamente el alcance de la gestión energética consiste en realizar, conjuntamente con el cliente, un análisis de la situación energética de la planta industrial, a manera de diagnóstico (cuánta energía se consume, dónde se consume, qué cantidad de ella se desperdicia, etc.), con el objetivo de identificar oportunidades evidentes de ahorro que se traduzcan en beneficios económicos directos.

Un análisis de esta naturaleza, cuyos principales indicadores son el índice energético y el potencial de ahorro de energía, puede conducir a la introducción de mejoras que aumentarán la eficiencia energética en las instalaciones industriales.

1.4. Base Teórica de la Investigación

Con el objetivo de determinar el basamento teórico necesario que sustentara la investigación pretendemos dejar definidos los principales conceptos sobre el tema y las expresiones matemáticas que se utilizarán.

Conceptos Básicos

Los siguientes conceptos son básicos para una buena comprensión de la eficiencia energética.

Eficiencia: es la optimización de los recursos utilizados para la obtención de los resultados u objetivos previstos.

Eficacia: es la contribución de los resultados obtenidos al cumplimiento de los objetivos trazados.

Efectividad: es la generación sistemática de resultados consistentes integrando eficacia y eficiencia.

Eficiencia energética: es la optimización de los recursos energéticos para alcanzar los objetivos económicos de la Empresa. Se mide a través de indicadores de eficiencia energética.

Indicadores Energéticos que se usan para medir el desempeño de la Eficiencia Energética
Indicadores Globales

Los más utilizados por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) son:

- Consumo Total de Derivados del Petróleo, Consumo Final de Energía y Consumo Final Per Capita de Energía; se expresan en barriles de petróleo equivalente (bep) y bep/habitantes (bep/hab)
- Consumo Final de Electricidad y Consumo Final de Electricidad Per Capita; se expresan en Gigawatts-horas (GWh) y Kilowatts-hora/hab.
- Intensidad Energética: se define como el Consumo Final de Energía de un país entre su Producto Interno Bruto (este último expresado en dólares,\$); se expresa en bep/\$. Según OLADE (julio 1994) la intensidad energética promedio de la Región en ese año fue de 2,9 bep/\$.

1 bep = 1,613944 MWh.

1 barril de petróleo = 0,15898 m³ = 5.6143 pie³ = 158,98 litros = 42 galones

Índice de gasto energético: gastos en energéticos por pesos de gastos totales de la Empresa. Generalmente se expresa en centavos de gastos energéticos por pesos de gastos totales. Este indicador está afectado por la fluctuación de los precios de sus componentes y no constituye un indicador de eficiencia energética, pero da una idea del peso del consumo energético en los gastos totales de la Empresa. Teniendo en cuenta la

doble moneda circulante en el país en ocasiones existe diferencia significativa cuando se determina en moneda nacional y en moneda libremente convertible, por lo que se recomienda determinarlo de ambas formas. Este indicador puede estratificarse y determinarse por tipo de energía consumida para conocer cuál aporta más a los gastos energéticos de la Empresa.

Índice relativo de la variación del gasto en energéticos: se determina para comparar un período con otro de la Empresa en el que se trabajó en igualdad de condiciones, para evaluar el impacto de medidas de control o técnicas organizativas tendientes a disminuir los consumos energéticos. Se calcula como la variación de los gastos de energéticos en un período de tiempo dado con respecto a la variación de los gastos totales en el mismo período de tiempo. Este indicador nos muestra cómo fue en el período la variación de los gastos energéticos con respecto a la variación de los gastos totales. Puede interpretarse de diferentes formas en dependencia de las variaciones que ocurran en el numerador y denominador: pesos de disminución de los gastos energéticos por peso de incremento de los gastos totales, pesos de incremento de los gastos de energéticos por peso incrementado en los gastos totales etc.

Intensidad Energética: A nivel de Empresa este indicador puede determinarse como la relación entre el consumo total de energía y el valor de la producción mercantil total. Nos refleja la tendencia de la variación de los consumos energéticos respecto al incremento de la producción.

Todos los indicadores de eficiencia y de consumo energético dependen de condiciones de la producción y los servicios de la Empresa como: factor de carga (es la relación de la producción real respecto a la capacidad productiva nominal de la Empresa), calidad de la materia prima, estado técnico del equipamiento etc. Debido a esto cada índice debe establecerse especificando las condiciones en que debe alcanzarse.

Competitividad: es la capacidad de una Empresa para sostener y expandir su participación en el mercado.

Herramientas de trabajo

Las herramientas de trabajo son aquellas que nos permiten implementar las secuencias de mejora. Por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas. Las básicas son aquellas que debe conocer todo miembro de un círculo o grupo de calidad y se basan en métodos estadísticos que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular detectando las causas de los problemas.

También permiten realizar una serie de observaciones de un mismo problema - como diferentes ángulos fotográficos - que crea una visión más completa del mismo. Las medias y de avanzada deben ser conocidas por los equipos y grupos de gestión de mejora ya que requieren un nivel académico y grado de especialización técnica para su comprensión, aplicación e interpretación.

La selección de las herramientas de trabajo para abordar un determinado problema de mejora puede ser determinante en el éxito de su solución, por ello hay que prestar especial cuidado en esto para no invertir tiempo y recursos en obtener resultados erróneos por mala selección o utilización de las herramientas.

Herramientas básicas.

El empleo de estas herramientas sigue el principio de Pareto, de ahí que unas pocas de ellas (herramientas básicas) permiten resolver la mayor parte de los problemas.

Las herramientas básicas fundamentalmente son las siguientes:

- Diagrama de Pareto.
- Histogramas.
- Selección ponderada.
- Diagrama causa y efecto.
- Diagrama de dispersión
- Estratificación.
- Gráficos de control.
- Hoja de verificación.

Para mejorar el factor de potencia.

El factor de potencia es un tema importante para la industria. Se puede definir como la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA) y es el indicativo de la eficiencia con que está utilizando la energía eléctrica para producir un trabajo útil. Un bajo factor de potencia (varía entre 0 y 1) limita la capacidad de los equipos y los arriesga a sobrecargas peligrosas y pérdidas excesivas de energía. El origen del bajo factor de potencia son las cargas de naturaleza inductiva, principalmente motores de inducción, luces fluorescentes, equipos electrónicos y formas de onda distorsionadas (armónicas). El primer paso en la corrección de un problema de factor de potencia es prevenirlos

mediante la selección y operación correcta de los equipos. Los sistemas de compensación de reactivos (condensadores principalmente) son una forma práctica y económica de mejorar el factor de potencia, sobre todo en instalaciones existentes. Su utilización puede ser un problema complejo y es conveniente recurrir a especialistas si no se cuenta con los recursos necesarios para resolverlo.

Por qué resulta dañino y caro mantener un bajo factor de potencia?

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.

Equipos Compensadores de Potencia Reactiva

Los equipos empleados en la compensación de la potencia reactiva de las cargas son fundamentalmente:

- 1) Bancos de capacitores.
- 2) Condensadores sincrónicos (motores sincrónicos sobreexcitados).
- 3) Compensadores activos (basados en electrónica de potencia: SVC, FACTS, etc.).

De ellos, por su bajo costo, reducido mantenimiento y bajas pérdidas de energía, los bancos de capacitores son los compensadores más empleados en la industria.

1. Ventajas de Compensar el Factor de Potencia

Las ventajas de mejorar el factor de potencia de una instalación industrial son:

- 1) Reducción de la factura eléctrica.
- 2) Liberación de capacidad en el sistema.
- 3) Reducción de las pérdidas de potencia y energía en el sistema.
- 4) Mejoramiento de las condiciones de voltaje en el sistema.

Reducción de la factura eléctrica

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

Es común para inversiones de capacitores, que estas se paguen en plazos muy pequeños ½ - 3 años para capacitores de 460 – 575 V o 2 – 6 años para capacitores de 230 V, solo por concepto del ahorro obtenido con la eliminación de la penalización por bajo factor de potencia.

Como se sabe, la tarifa eléctrica cubana cobra mensualmente la electricidad por una expresión como la siguiente:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Factura} \\ \text{eléctrica} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Importe de} \\ \text{facturación normal} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} \text{Coeficiente K de penalización} \\ \text{o bonificación por fp} \end{array} \right) \quad 1.1$$

Donde se utiliza como coeficiente K de penalización o bonificación:

$$K = \begin{cases} 0.9 / fp_{MP} & \text{si } fp_{MP} < 0.90 \\ 1 & \text{si } 0.90 \leq fp_{MP} \leq 0.92 \\ 0.92 / fp_{MP} & \text{si } fp_{MP} > 0.92 \text{ hasta } fp_{MP} = 0.96 \end{cases}$$

De esta forma, el efecto en la factura de un incremento del factor de potencia puede ser considerable si el factor de potencia inicial es inferior al 90%. Por lo general, para tomar plena ventaja de la bonificación, se acostumbra compensar hasta un factor de potencia cercano al 96%.

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 menor carga en kVA para generadores, transformadores, cables, etc.

Por lo tanto, los capacitores pueden utilizarse para reducir la sobrecarga de los circuitos o, si estos no están sobrecargados, permiten el incremento de la capacidad de carga de estos circuitos.

Por ejemplo, un conductor que está entregando una carga P a $\cos\phi_1$, ve una reducción de la corriente si el factor de potencia de la carga se incrementa a $\cos\phi_2$.

$$kVA_1 = \frac{P}{\cos\phi_1} \quad kVA_2 = \frac{P}{\cos\phi_2} \quad 1.2$$

$$kVA_2 = kVA_1 \frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \quad 1.3$$

Se define como **Capacidad Térmica Liberada** por el incremento del factor de potencia, o simplemente, Capacidad Liberada a la carga en kVA que puede ser añadida a la carga original a su mismo factor de potencia sin que se incremente la carga total en kVA del circuito.

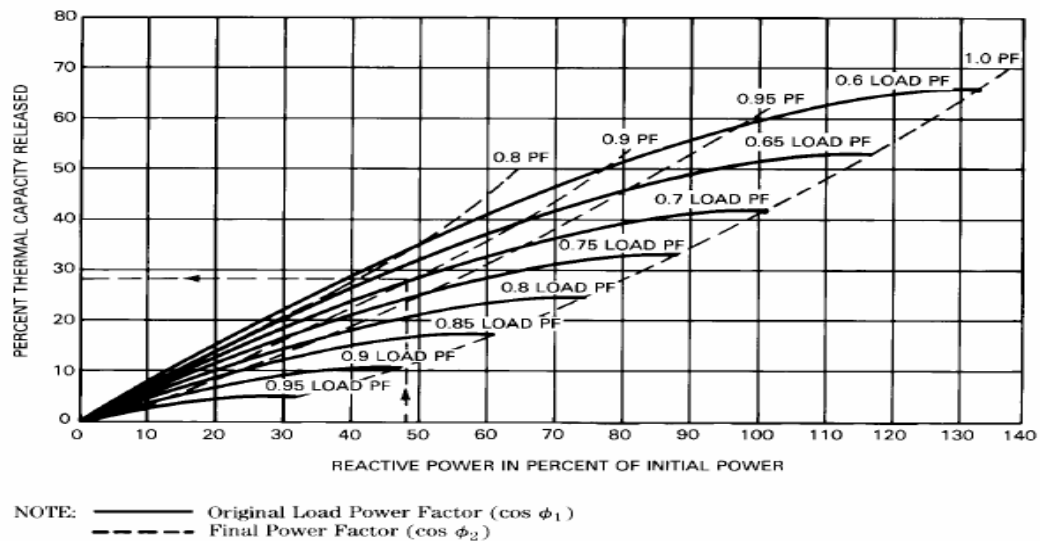


Figura 1.1 Capacidad liberada

La figura 1.1 que se muestra, permite calcular la capacidad liberada en función del por ciento que representa la potencia reactiva de compensación con respecto a la carga inicial en kVA y de acuerdo al factor de potencia original de dicha carga.

Por ejemplo, un circuito con una carga original de 1000 kVA y factor de potencia 0.7, al instalarle un capacitor de 480 kVAr, libera una capacidad de 28.5%. Es decir que pueden añadirse 285 kVA de carga a factor de potencia 0.7 sin que la carga total supere los 1000 kVA. El factor de potencia resultante sería de 0.9.

Si se considera que la carga original del circuito es P_1 y Q_1 y la carga final P_2 y Q_2 , pueden plantearse las relaciones.

$$P_2 = P_1 + Tc \cos \phi_1 \quad 1.4$$

$$Q_2 = Q_1 + Tc \operatorname{sen} \phi_1 - Qc \quad 1.5$$

Donde Tc es la capacidad liberada (thermal capacity) y Qc la potencia reactiva de compensación.

Como la potencia aparente inicial tiene que ser igual a la final, se tiene que:

$$P_1^2 + Q_1^2 = P_2^2 + Q_2^2 \quad 1.6$$

De esta forma, pueden obtenerse la capacidad liberada Tc para un capacitor dado, o el capacitor necesario para lograr determinada liberación de capacidad por las siguientes expresiones.

$$Tc = -(P_1 \cos \phi_1 + (Q_1 - Qc) \operatorname{sen} \phi_1) + \sqrt{(P_1 \cos \phi_1 + (Q_1 - Qc) \operatorname{sen} \phi_1)^2 - (Qc^2 - 2Q_1 Qc)} \quad 1.7$$

$$Qc = (Q_1 + Tc \operatorname{sen} \phi_1) + \sqrt{(Q_1 + Tc \operatorname{sen} \phi_1)^2 - (Tc^2 + 2Tc(P_1 \cos \phi_1 + Q_1 \operatorname{sen} \phi_1))} \quad 1.8$$

La evaluación económica de la compensación de reactivo por esta razón, debe comparar el costo de obtener la capacidad Tc deseada mediante capacitores o por el incremento de la capacidad del circuito en la subestación y otras facilidades. Valores de orientación para esta evaluación se ofrecen en la tabla 1.1

Tabla 1.1. Evaluación económica de la compensación de reactivo.

Voltaje del sistema V	Costo S subestación y facilidades (\$/kVA)	Costo C de capacitores (\$/kVA)	Relación S/C
240	40 – 50	18 - 20	2 – 2.8
480	30 – 40	8 - 10	3 - 5
600	25 – 35	8 - 10	2.5 – 4.4

Esto demuestra que en muchos casos es más barato liberar capacidad compensando el factor de potencia que incrementando la capacidad de la subestación y otras facilidades.

Reducción de pérdidas

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

Los capacitores solo pueden reducir, la parte de las pérdidas debida a la circulación de la potencia reactiva.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{V^2} R = \left(\frac{P}{V}\right)^2 R + \left(\frac{Q}{V}\right)^2 R = \Delta P_p + \Delta P_q \quad 1.9$$

Las pérdidas varían al compensar la potencia reactiva con un capacitor de magnitud Q_c :

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + (Q - Q_c)^2}{V^2} R \quad 1.10$$

El ahorro de pérdidas depende de:

$$\Delta P_1 - \Delta P_2 = \left(\frac{P^2 + Q^2}{V^2} - \frac{P^2 + (Q - Q_c)^2}{V^2} \right) R = \frac{Q_c(2Q - Q_c)}{V^2} R \quad 1.11$$

Las pérdidas en un circuito son proporcionales al cuadrado de la corriente, por lo que un cambio en el factor de potencia $\cos\phi_1$ a $\cos\phi_2$ provoca una variación de las pérdidas:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 = \Delta P_1 \left(\frac{P/(\sqrt{3} V \cos\phi_2)}{P/(\sqrt{3} V \cos\phi_1)} \right)^2 = \Delta P_1 \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right)^2 \quad 1.12$$

Entonces, el ahorro de pérdidas es:

$$\Delta P_1 - \Delta P_2 = \Delta P_1 - \Delta P_1 \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right)^2 = \Delta P_1 \left(1 - \left(\frac{\cos\phi_1}{\cos\phi_2} \right)^2 \right) \quad 1.13$$

En el caso general en que se conectan un conjunto de bancos de capacitores en diferentes nodos del sistema eléctrico, el ahorro en las pérdidas depende del efecto de todos los bancos y no puede separarse por cada uno de ellos.

Mejoramiento de las condiciones de voltaje

Evidentemente, si la caída de voltaje en un elemento serie depende de:

$$\Delta V \approx \frac{RP + XQ}{V} \quad 1.14$$

$$\Delta V_2 \approx \frac{RP + X(Q - Qc)}{V} = \Delta V_1 - \frac{X Qc}{V} \quad 1.15$$

Una variación de la potencia reactiva de la carga repercute en una disminución de la caída de voltaje.

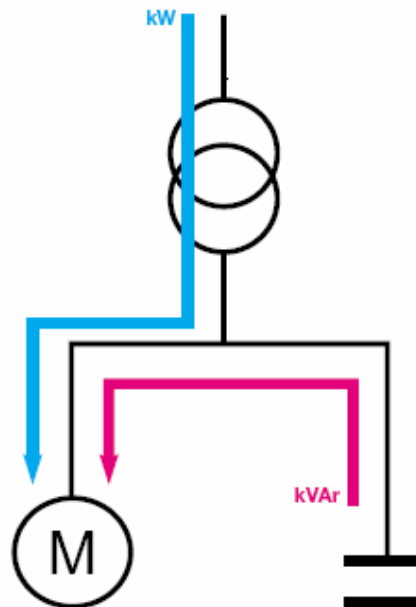


Figura 1.4 Ubicación de capacitores

De esta forma, la conexión de bancos de capacitores al circuito, siempre incrementa los niveles de tensión en los nodos, por lo cual debe chequearse que el voltaje no crezca excesivamente. Sin embargo, la elevación experimentada en plantas industriales con el uso de capacitores, rara vez supera el 4 – 5%, por lo que no es un problema que limite el uso de esta importante medida de ahorro de energía.

Localización de los Capacitores

Todos los beneficios aportados por los capacitores se derivan de sus posibilidades de generación de potencia reactiva, las que permiten suministrar localmente dichas necesidades de reactivo a las cargas.

De esta forma, los generadores, cables, transformadores y demás elementos del sistema se descargan del reactivo circulante.

Por lo tanto, visto de esta forma, los máximos beneficios de los capacitores se obtienen cuando estos se ubican cerca de las cargas.

Es por esto, que siempre que sea posible, los capacitores deben localizarse lo más cerca posible de la carga en el nivel de tensión de utilización 480 – 600 V.

La mejoría del factor de potencia, la liberación de capacidad eléctrica y la reducción de las pérdidas de potencia y de las caídas de voltaje se hacen efectivas desde el punto de ubicación hacia la fuente de suministro.

La siguiente figura muestra las principales ubicaciones que pueden tener los capacitores dentro de un circuito industrial:

- 1) En los bornes de motores asincrónicos (unidad motor-capacitor).
- 2) En las pizarras de fuerza de baja tensión.
- 3) En los centros generales de distribución de baja tensión.
- 4) En el centro general de distribución de media tensión.

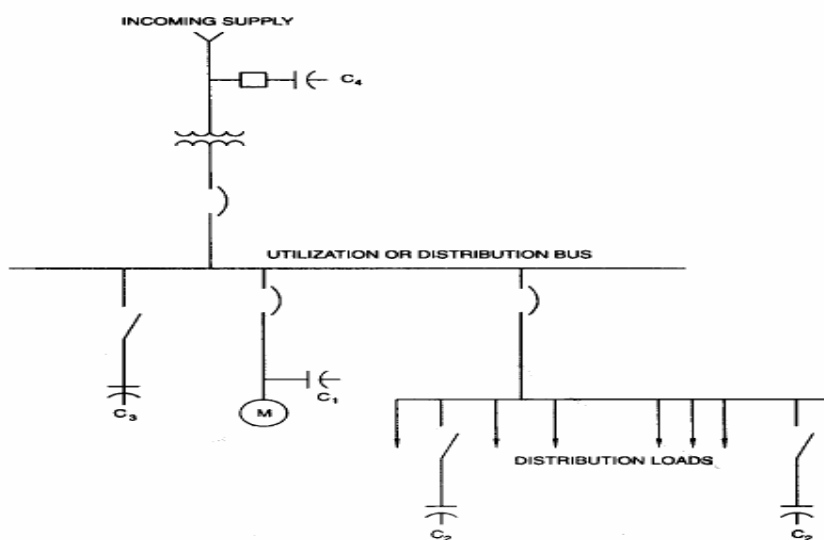


Figura 1.3 Ubicación de condensadores.

Desde el punto de vista técnico puramente, las mejores ubicaciones serían C1 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 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 está conectada en cada momento, el banco de capacitores solo requiere la mitad de la potencia reactiva necesaria para compensar el total de la carga.

Por otra parte, la tensión del sistema influye en la localización de los capacitores. Un capacitor de 230 V cuesta más de dos veces lo que cuesta esa misma capacidad a una tensión de 460 - 575 V. Por otra parte, aún cuando las unidades de 2400 V son las más económicas, los bancos dotados de desconectivos adecuados de media tensión, cuestan más que los de 460 – 575 V para las aplicaciones industriales prácticas, debido al costo adicional de los desconectivos de 2400 V.

Características de los capacitores

La norma ANSI/IEEE 18 – 1980, establece los valores límites para el funcionamiento de los capacitores de potencia. Según esta norma, un capacitor de potencia debe cumplir los siguientes requerimientos límites:

- 1) Soportar el 110% del voltaje nominal rms ($V \leq 1.1 V_N$)
- 2) Soportar el 120% del voltaje pico nominal ($V_{pico} \leq 1.2 V_N$).
- 3) Soportar el 180% de la corriente nominal rms ($I \leq 1.8 I_N$).
- 4) Soportar el 135% del reactivo nominal ($Q \leq 1.35 Q_N$).

Control de los bancos de capacitores

Los bancos de capacitores se clasifican por su modo de operación en: bancos fijos y bancos controlados.

Los bancos fijos están permanentemente conectados al sistema, aportando el total de su potencia reactiva en todo momento. Esto puede traer algunos inconvenientes debido a la variabilidad de la carga en el tiempo, ya que en períodos de carga reducida, la potencia reactiva capacitiva puede superar la de la carga y la empresa industrial se convierte en un generador de potencia reactiva al sistema.

En estas condiciones, pueden aparecer sobrevoltajes en algunos puntos del sistema de distribución industrial e incluso incrementarse las pérdidas por la transferencia en sentido

inverso de esta potencia reactiva. Además, el reglamento de baja tensión de algunos países como España, evita la generación de reactivo al sistema.

Es por esto que se emplean bancos compuestos por una o varias unidades capacitivas que se conectan o desconectan por determinada estrategia, que pueden ser:

- 1) Controlados por tiempo.
- 2) Controlados por voltaje.
- 3) Controlados por corriente.
- 4) Controlados por factor de potencia.

Control por tiempo

Este es el tipo de control más sencillo y barato. Normalmente es un control on/off que se programa para que todos los días conecte el banco solo en el período de tiempo en que resulte más necesario el reactivo, evitando la sobrecompensación en el resto del día.

Control por voltaje

El control por voltaje puede emplearse cuando el voltaje en el punto de conexión del capacitor se reduce ante un incremento de la carga. Requiere una señal de voltaje y tiene la ventaja de evitar cualquier tipo de sobrevoltaje debido a los capacitores, pero no sigue exactamente el ciclo de carga reactiva.

Control por corriente

Se utiliza cuando la variación de voltaje con el incremento de la carga es muy baja para utilizar un control por voltaje. Es efectivo cuando la carga máxima del circuito supera dos o tres veces la carga mínima y generalmente se emplea en circuitos con grandes cargas que funcionan intermitentemente. El sensor debe medir la corriente en el lado de la carga.

Control por factor de potencia

El control por factor de potencia es uno de los más empleados actualmente en los centros generales de distribución de baja tensión de las industrias e instalaciones de servicio. Se basa en obtener señales de voltaje y corriente de la red que permiten determinar el factor de potencia y por lo tanto controlar este parámetro a un valor prefijado.

La siguiente figura muestra la forma de conexión de los transformadores de corriente en distintas configuraciones para controlar correctamente el factor de potencia de la instalación.

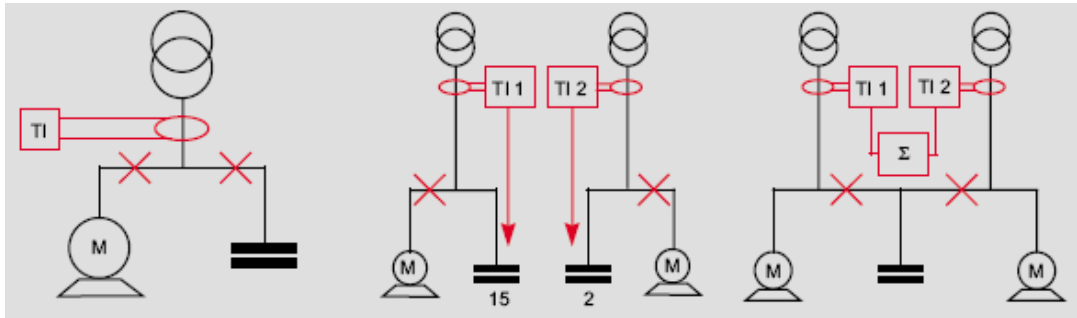


Figura. 1.4 Conexión de los transformadores de corriente

En forma general, este tipo de banco está compuesto por una batería de capacitores de igual o diferente capacidad, que se conectan y desconectan por contactores magnéticos para seguir la curva de carga reactiva y lograr mantener el factor de potencia de la instalación lo más cercano posible al valor prefijado.

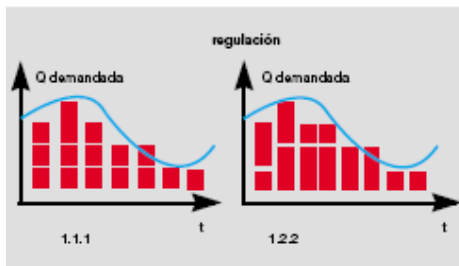


Figura. 1.5 Conexión y desconexión de capacitores

El regulador electrónico de este tipo de banco de capacitores, se ajusta a partir de dos parámetros fundamentales:

- 1) El factor de potencia deseado.
- 2) La relación C/K.

Al seleccionarse el banco de capacitores, debe tenerse en cuenta que para mantener el factor de potencia en el valor deseado, el banco tiene que tener una potencia total mayor que la necesaria para obtener dicho factor de potencia en el horario de máxima carga.

Por su parte, la relación C/K es un parámetro de ajuste que representa la relación entre la corriente reactiva del primer escalón del banco y la relación del transformador de corriente empleado.

$$C / K = \frac{Q_1 / (\sqrt{3} V_n)}{I^{1rio} / I^{2rio}} \quad 1.6$$

Es decir, que el C/K no es más que la corriente reactiva del primer escalón (unidad de menor capacidad del banco), referida al secundario del transformador de corriente.

El valor de C/K , o de la corriente del primer escalón, constituye un nivel de referencia para conectar o desconectar unidades. El regulador ordena conectar nuevas unidades, si el incremento de corriente reactiva necesaria para obtener el factor de potencia deseado es superior a C/K , mientras que decide desconectar unidades, si la reducción de corriente reactiva calculada es superior a C/K .

Un valor muy bajo de C/K provoca una hipersensibilidad del control, sucediéndose continuas conexiones y desconexiones de unidades, con un trabajo excesivo de los contactores, mientras que un valor muy alto de C/K provocaría la insensibilidad del control, no lográndose obtener el factor de potencia deseado.

1.5. Conclusiones

En el presente capítulo se estableció el Marco - Teórico Metodológico de la Investigación; definiendo el problema a resolver en la planta y las tareas a desarrollar, así como la hipótesis de la investigación. Se definieron los principales conceptos sobre el tema y las expresiones matemáticas que se utilizarán.

CAPÍTULO II

Diagnóstico Energético del ENVAL

Introducción

Caracterización del Flujo Tecnológico del Sistema Eléctrico del ENVAL

Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico

Conclusiones

2.1 Introducción.

Ante dar inicio a cualquier trabajo, para una mejor comprensión, es aconsejable hacer un esbozo del proceso tecnológico donde se enmarca el mismo. La eficiencia energética tiene una estrecha relación con el cumplimiento de las normas de consumo y los indicadores necesarios para ser una empresa eficiente y competitiva.

2.2 Caracterización del Flujo del proceso tecnológico y Sistema Eléctrico.

La empresa de envases de aluminio es de tecnología moderna, inició su ajuste y puesta en marcha en junio del 2001. Su objetivo social es la producción de envases de aluminio para cervezas y refrescos. Para una mejor comprensión el se sitúa el diagrama de flujo tecnológico en la Fig. 2.1.

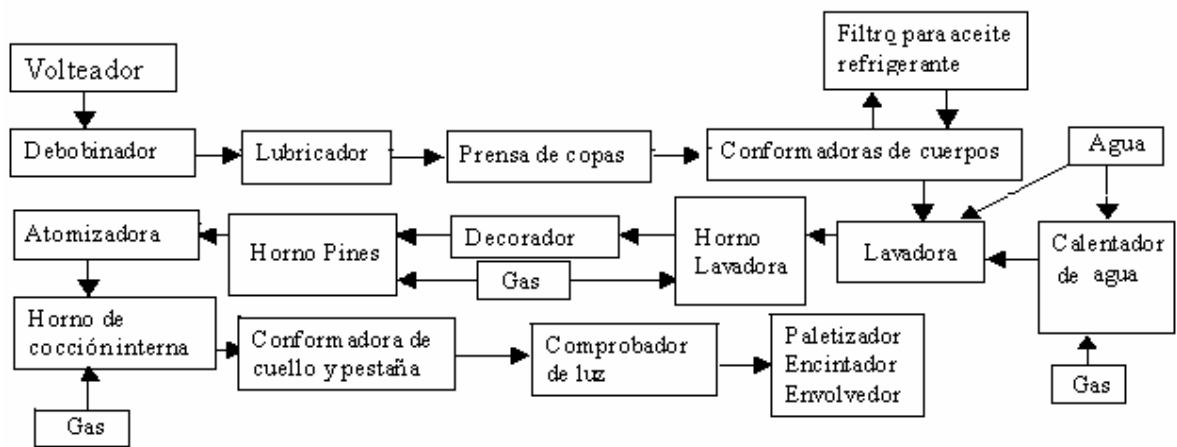


Figura.2.1 Flujograma del proceso tecnológico de la ENVAL de la provincia de Holguín.

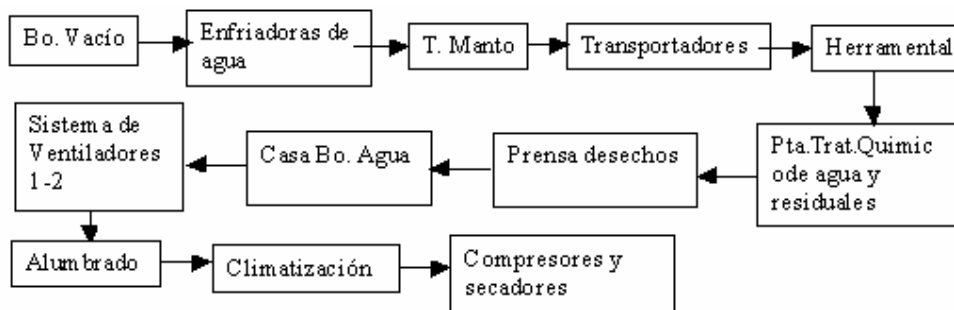


Figura.2.2. Preparación del material que se utiliza en los envases de aluminio.

Las figuras 2.1 y 2.2 representan el flujograma del proceso tecnológico de la empresa y preparación del material que se utiliza a continuación le damos a conocer la potencia y porcentaje de cada elemento la máxima potencia que tiene instalada la empresa es de 2022,3 kW. El volteador trabaja con 4 kW para un 0,19 por ciento; el debobinador con 4,5 kW para un 0,22 por ciento, el lubricador con 1,5 kW para 0,07 por ciento, la prensa de copas con 88,5 kW para un 4,4 por ciento, la conformadora de copas con 277,4 kW para un 13,8 por ciento, el filtro de aceite refrigerante con 30,6 kW para un 1,5 por ciento, el calentador de agua con 19 kW para un 0,9 por ciento, la lavadora con 151,5 kW para un 7,5 por ciento, el horno de la lavadora con 167 kW para un 8,3 por ciento, el decorador con 43 kW para un 2,1 por ciento, el horno de pines con 93,5 kW para un 4,6 por ciento, la atomizadora con 4,4 kW para un 0,2 por ciento el paletizador- excitador- envolvente con 18,6 kW para un 0,9 por ciento, el comprobador de luz con 3,4 kW para un 0,16 por ciento, la conformadora de cuellos y pestaña con 27,7 kW para un 1,3 por ciento, el horno de cocción interna con 53,6 kW para 2,6 por ciento. Los equipos auxiliares trabajan de la siguiente forma:

La bomba en vacío con 52,5 kW para un 2,6 por ciento, las enfriadoras de agua con 60,4 kW para un 3 por ciento, el taller de mantenimiento con 63,1 kW para 3,1 por ciento, los transportadores con 194,6 kW para 9,7 por ciento, el taller herramental con 14,2 kW para un 0,7 por ciento, el sistema de ventiladores 1-2 con 80,8 kW para un 4,4 por ciento, la casa de bombas de agua con 4,5 kW para 0,2 por ciento, la climatización con 62,2 kW para un 3,1 por ciento, la prensa de desechos con 45,3 kW para un 2,2 por ciento, los compresores y secadores con 506,14 kW para un 25,2 por ciento, la planta de tratamiento químico de agua y residuales con 39,5 kW para un 1,9 por ciento y el alumbrado con 74,42

kW para un 3,6 por ciento. Los de mayores potencias y mayor porcentaje son los compresores y secadores.

El proceso productivo se inicia en la Prensa donde se fábrica un pequeño envase que recibe el nombre de Copa que es estirada en frío y recortado según los parámetros establecidos, esta máquina recibe el nombre de conformadora de cuerpo de la lata, luego continua a la lavadora y se somete a 7 etapas de lavado donde se elimina toda la grasa y suciedad que pueda tener; pasa por el horno de gas; en estas condiciones se somete a la maquina decoradora, se le imprime el diseño escogido según el pedido de los clientes; continua al horno de pines (horno de gas) donde es secada la tinta de la lata, de aquí se somete al barnizado interior con el objetivo de aislar el producto que sea envasado de las paredes metálicas del recipiente y evitar que exista reacción y contaminación del mismo; la etapa que sigue es el horno de secado del barniz interior, pasando a los equipos de conformar el cuello y dejarla lista para la colocación de la tapa; luego es enviada hacia la máquina encargada de entregar el producto final de una forma que permita su fácil manipulación, que recibe el nombre de Paletizador envolvedor.

También la industria cuenta con equipos auxiliares de tratamiento de agua y residuales, compresores, tratamiento de aceite, calentadores de agua.

El flujo tecnológico de una forma más simplificada se muestra en la figura #2.1, que no es más que la reducción a grandes bloques del diagrama general.

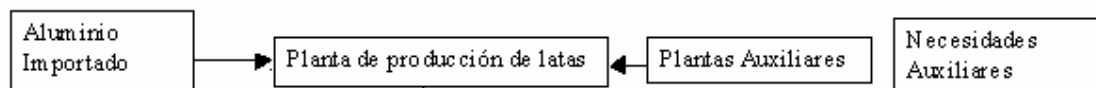


Figura 2.3.: Estructura productiva de ENVAL.

La figura 2.3 representa la estructura productiva de ENVAL donde esta el aluminio importado que es la materia prima que se utiliza en la producción de latas. En cuanto a la planta que trabaja con una potencia de 1246,9 kW y un 62,2 por ciento, las plantas auxiliares tienen una potencia de 614,66 kW con un 30,7 por ciento estos equipos son los compresores, bombas, transportadores, planta de tratamiento químico de agua y otros. La necesidades auxiliares son los equipos de oficinas, servicios y administración donde trabaja con una potencia de 143,12 kW con un 7,1 por ciento que la estructura suma el 100 por ciento.

La empresa cuenta con una potencia instalada de 2022.3 kW estructurada de la forma que muestra la Tabla 2.1 y la Fig. 2.4.

Tabla 2.1. Estructura de la potencia instalada

No	Descripción	Potencia kW	%
1	Fuerza	1885,71	93,2
2	Alumbrado	74	4,2
3	Climatización	62	2,6
Total		2022,3	100

En La tabla 2.1 se aprecia que la fuerza es la mayor consumidora de potencia de 1885.71 kW y representa un mayor porcentaje de 93,2.

La representación de los porcentos de la potencia que se representan en la Fig. 2.4

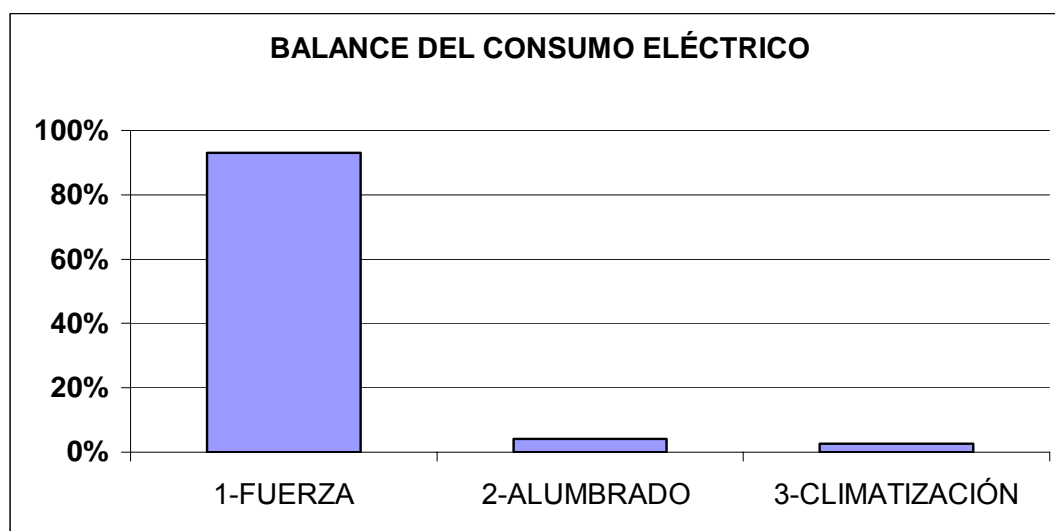


Figura 2.4. Balance del consumo eléctrico ENVAL..

La fuerza constituye el 93% del consumo eléctrico de la empresa y se distribuye como muestra la tabla 2.2 que muestra la potencia real que demandan los equipos de alta tensión.

2.3. Diagnóstico energético del Sistema Eléctrico

El término diagnóstico es asociado comúnmente con el área médica, definiéndose como un conjunto de signos o síntomas particulares de una enfermedad, a partir de los cuales el médico toma las medidas necesarias para combatir los agentes que la causaron. De

manera análoga el “diagnóstico energético” efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia / deficiencia que tiene una empresa o planta en nuestro caso. Tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuánta energía es empleada o desperdiciada? En sistemas, además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

Tipos de diagnósticos energéticos.

Diagnóstico de primer grado:

- Inspección visual del estado de conservación de las instalaciones.
- Análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación.
- Análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible.
- Objetivo fundamental es detectar medidas de ahorro o de incremento de eficiencia energética cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales.
- Sistema de capacitación básica al personal de operación que les permita mantener y aplicar las medidas detectadas.

Diagnóstico de segundo grado:

- Estudio de todas las fuentes de energía de la empresa.
- Análisis de los consumos históricos de portadores energéticos y de la producción.
- Análisis de las condiciones de operación de las instalaciones y su mantenimiento.
- Análisis de consumos específicos, de indicadores energéticos y eficiencia de las instalaciones de uso intensivo en todas las áreas y procesos.
- Realización de balances de energía y materia. Análisis de los costos de energía.
- Identificación de oportunidades de ahorro de energía.
- Evaluación económica de las medidas que se recomienden y su jerarquía.
- Fijar objetivos y metas en función de los potenciales de ahorro.

Diagnóstico de tercer grado:

- Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación.

- Debe realizarse con la participación del personal especializado de cada área con el apoyo del personal de ingeniería.
- Normalmente es común el uso de técnicas de simulación de procesos para el estudio de diferentes esquemas de operación de equipos y procesos, además de la evaluación de los efectos de los cambios de operación en los consumos específicos de energía. En este caso se refiere de una información completa de los flujos de materiales de energía eléctrica, así como de variables tales como presión, temperatura, propiedades de las diferentes sustancias, etc.
- Las recomendaciones derivadas del diagnóstico generalmente son de aplicación a mediano y largo plazo ya que implican modificaciones, equipos, procesos e incluso de las tecnologías utilizadas.

Resultados del diagnóstico del primer y segundo grado.

Se tomaron medidas con un analizador de redes desde el mes de marzo del presente año con el objetivo de llegar a la solución del problema.

Estructura del consumo de portadores energéticos.

El año 2001 fue un año de ajuste y puesta en marcha por lo que los consumos no se corresponden con la producción. En enero del 2002 se comienza como entidad productiva a tener resultados discretos pero el consumo de los portadores se altera por las constantes averías y falta de dominio de la tecnología por parte del personal, sumándole a esto la falta de recursos y otras causas subjetivas y objetivas que no permitieron una estabilidad en el proceso. Los datos se recogen en la tabla 2.2, donde se nota a simple vista el ahorro (ficticio) del real respecto al plan debido fundamentalmente a la falta de materia prima que trae consigo paradas inadecuadas de la planta y con ello el supuesto ahorro energético.

Tabla 2.2. Comportamiento del consumo de los portadores energéticos año 2007 al 2009 ENVAL.

		2007		2008		2009	
		Plan	Real	Plan	Real	Plan	Real
Energía Eléctrica.	MWh	1560	1741.9	6013.4	4776.8	6226	2970,6
Tcc	Tcc	608	679	2343.4	1861.5	2334,8	1114
Gas	Ton	149.84	149.84	910	371.9	543,8	204,8
Tcc	Tcc	174	174	1058.4	432.6	632,5	238,2

Diesel	Ton	41.43	41.43	33.2	46.2	39,9	38,4
Tcc	Tcc	44	44	35	48.7	42	40,5
Gasolina	Ton	6.62	6.62	3.6	4.2	3,6	4,3
Tcc	Tcc	7	7	3.9	4.6	3,9	4,7
Total Tcc	Tcc	833	904	3440.8	2347.4	3013,2	1397,3

Estructura de gastos de los portadores energéticos

Los gastos de los portadores del año 2008 y 2009 se puede apreciar que el mayor porcentaje de los gastos recae en la energía eléctrica que representa el 58 % del total. Esta industria utiliza una gran cantidad de equipos automatizados que se alimentan con corriente eléctrica, además de la gran cantidad de motores eléctricos que posee. También cuenta con tres hornos que se alimentan con gas GLP de alto precio en el mercado. Como señala la tabla 2.3. Esta Empresa es alta consumidora de energía eléctrica.

Tabla 2.3. Gastos (CUC) de los portadores energéticos.

Mes	2008				2009			
	Energía Eléctrica CUC	Gas CUC	Diesel CUC	Gasolina CUC	Energía Eléctrica CUC	Gas CUC	Diesel CUC	Gasolina CUC
Ene.	25213.2	20014.72	1880	77.5	30502.71	8231.04	1160.00	102.50
Feb.	37125.32	31758.08	2120	75	12846.64	4639.36	1320.00	100.00
Mar.	22542.62	16118.4	1920	120	43373.70	26366.72	1760.00	100.00
Abr.	7852.19	7644.16	1560	125	10496.19	2320.00	1680.00	125.00
May.	35633.5	19930.88	1800	140	14342.72	1106.80	880.00	115.00
Jun.	35467.88	26162.56	2440	130	39986.30	56016.00	1320.00	75.00
Jul.	39583.68	28954.88	1960	147.5	38375,82	24937,6	1680	150
Ago.	14128.61	2068.48	1520	150	6185,32	0	1040	92,5
Sep.	29257.6	20789.12	1960	150	2364,94	0	560	30
Oct.	36201.23	19187.84	1840	150	1995,61	0	1280	75
Nov.	37276.12	21127.68	1400	75	21374,12	17990,7	1720	150
Dic.	39620.28	24352.64	1560	100	15819,51	10850	2312	85
Total	359902.2	238109.4	21960	1440	237663,5	123730,5	16712,0	1200,00
%	58	38.3	3.5	0.2	62,7	32,6	4,4	0,3

Datos históricos por año.

A continuación se sitúan tablas independientes por años de forma individual con el objetivo de una mejor comprensión de los consumos y costos de los energéticos. Ver tablas 2.4 ,2.5 y 2.6.

Tabla 2.4. Consumo y costo energético 2008.

Portador	Consumo, tep/año	Costo, \$/año
Electricidad	679	162787.15
Gas GLP	174	95897.60
Diesel	44	19547.00
Gasolina	7	2241.04
Total	904.00	280472.79

La tabla 2.4 del año 2008 representa la de electricidad el portador de mayor consumo con 679 tep/año y un costo de 162787.15, para hacer este análisis tuvimos en cuenta el Diagrama de Pareto.

Tabla 2.5. Consumo y costo energético 2009

Portador	Consumo, tep/año	Costo, \$/año
Electricidad	1861.5	359,902.23
Gas GLP	432.6	238109.44
Diesel	48.7	21960
Gasolina	4.6	1440
Total	2,347.40	621,411.67

La tabla 2.5 representa el consumo y costo energético del año 2008 quien hace mayor consumo es la electricidad con 1861.5 tep/año y un costo de 359,902.23 en el año.

Tabla 2.6. Consumo y costo energético 2009

Portador	Consumo, tep/año	Costo, \$/año
Electricidad	1114	237663,58
Gas GLP	238,2	123730,54
Diesel	40,5	16712
Gasolina	4,7	1200
Total	1.397,40	379.306,12

La tabla 2.6 representa el mayor portador de consumo que es la electricidad en el año 2009 con 1114 tep/año y un costo de 237663,58 en el año.

Finalmente podemos plantear que esta industria utiliza una gran cantidad de equipos automatizados que se alimentan con corriente eléctrica, además de la gran cantidad de motores eléctricos que posee. También cuenta con tres hornos que se alimentan con gas GLP de alto precio en el mercado y es por la que la electricidad es el portador mayor consumidor.

Tanto en las tablas expuestas arriba como en las figuras que se mostraran a continuación se observa claramente que aunque los costos han sido reducidos por años así como el consumo, esto no es real si se tira una comparación en el nivel de producción. Como se vera mas adelante. No obstante aunque pequeño aumentó el consumo de diesel para una menor producción de miles de latas.

Este aspecto de forma más desglosada se puede observar en el anexo #6.

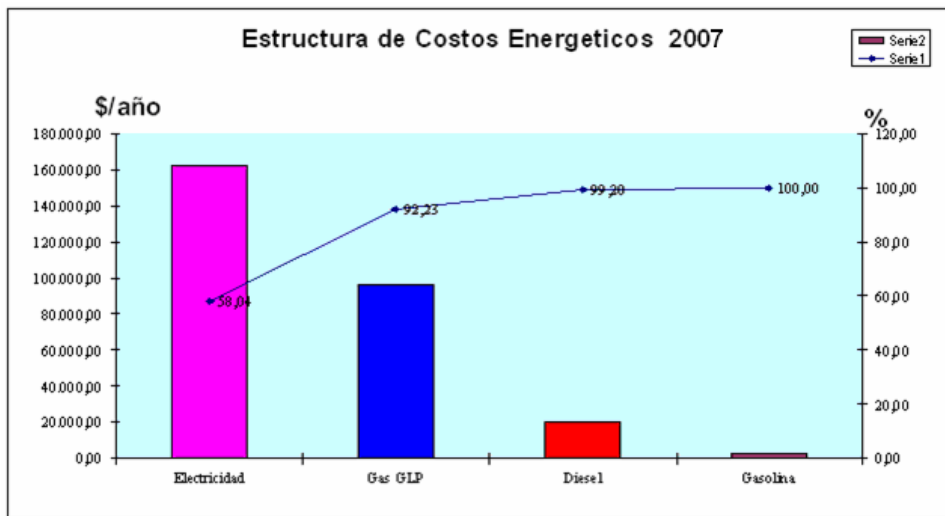


Figura 2.5. Costo energético 2007.

La figura 2.5 representa el diagrama de pareto del 2007 con sus portadores de consumo de peso por año, donde estos gráficos se evidencian de la tabla 2.4 de costo energético.

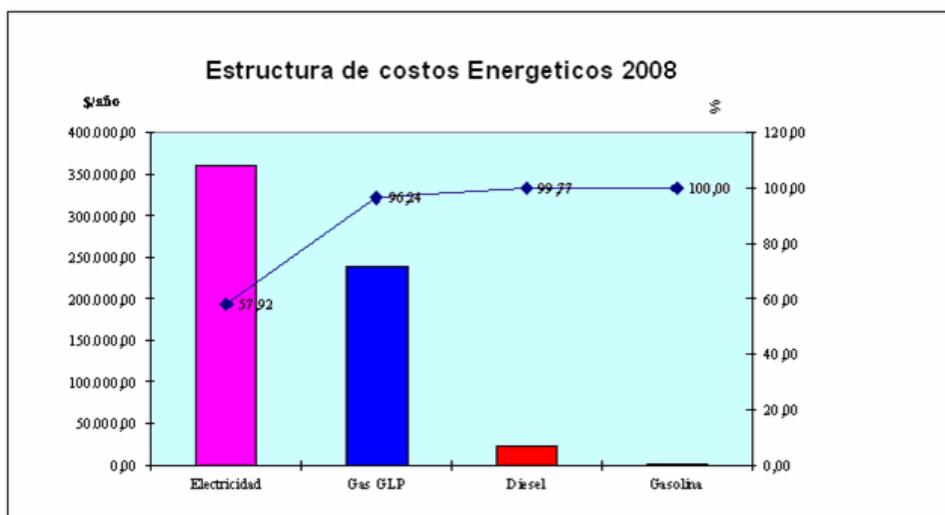


Figura 2.6. Costo energético 2008.

La figura 2.6 representa la estructura de costos energéticos del año 2008, donde en este gráfico se observa claramente los datos de la tabla 2.5 de costos.

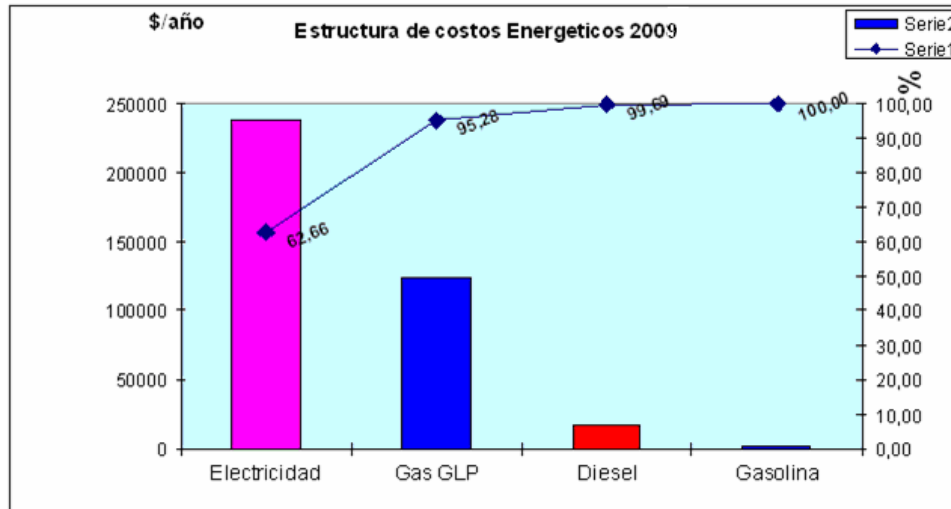


Figura 2.7. Costo energético 2009.

La figura 2.7 representa el costo energético del año 2009 con más claridad que la tabla 2.6 de los costos.

Los gráficos de costos energéticos por año dan a conocer que la gasolina es muy poca consumida seguidamente el diesel, gas GLP y la electricidad es mayor utilidad.

Estado energético de la empresa.

El análisis del comportamiento histórico de indicadores, gráfico de control, Sobre consumos y potenciales de ahorro. Se muestran a continuación en la tabla 2.7. La producción y el promedio de los índices de consumo 2008 de mayo respecto al 2009, lo cual corroboran lo que se ha planteado hasta aquí. Si en el año 2009 se hubiera alcanzado producciones cercanas al año anterior entonces el consumo y costo de su producción hubiesen estado por encima, lo que demuestra una vez más la no correcta utilización de los equipos o el incorrecto consumo de los portadores energéticos.

Tabla 2.7. Comportamiento histórico de acuerdo a sus indicadores.

Mes	Año 2008			Año 2009		
	EE kWh/1000 latas	Gas Kg/1000 latas	Producc. Latas (millar)	EE kWh/1000 latas	Gas Kg/1000 latas	Producc. Latas (millar)
E	87	9	4110.46	52.3	1.92	6722
F	96	8	8170	73.9	4	1798
M	91	5	5049.06	50.6	3.76	10967
A	38	7	2404.26	160.3	5.7	365.4
M	48	6	7983.8	96.3	10.6	1720
J	110	7	7340.84	75	5.5	7715
J	65	5	10027.82	79,8	5,5	6978,7
A	38	7	671.46	0	0	84,36
S	196	15	4979.14	0	0	0
O	273	14	4006.34	0	0	0
N	198	10	5253.12	95,8	8,4	3068,5
D	142	3	11544.4	115,4	8,9	1734,3
Total	1382	96	71541	799,4	54,28	41423,12
Prom	115	8	5962	88,8	6,0	4602,6

Otra forma de demostrar lo planteado anteriormente se analiza por medio de la figura 2.8 y 2.9 respectivamente.

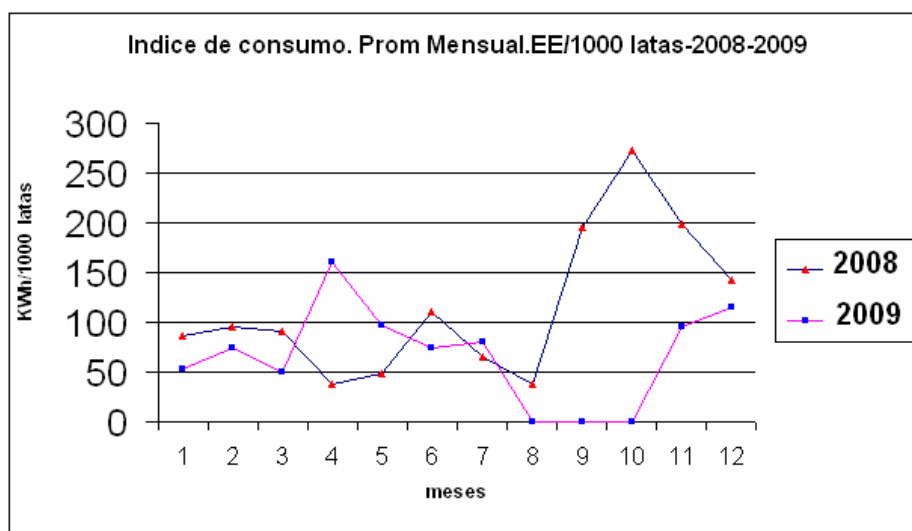


Figura 2.8. Índice de consumo de latas 2008/2009.

En la figura 2.8 se observa el índice de consumo 2008-2009 de energía eléctrica fue en el 2008 con 273 KWh/1000 latas en el mes de octubre, 14 kg de gas/1000 latas.

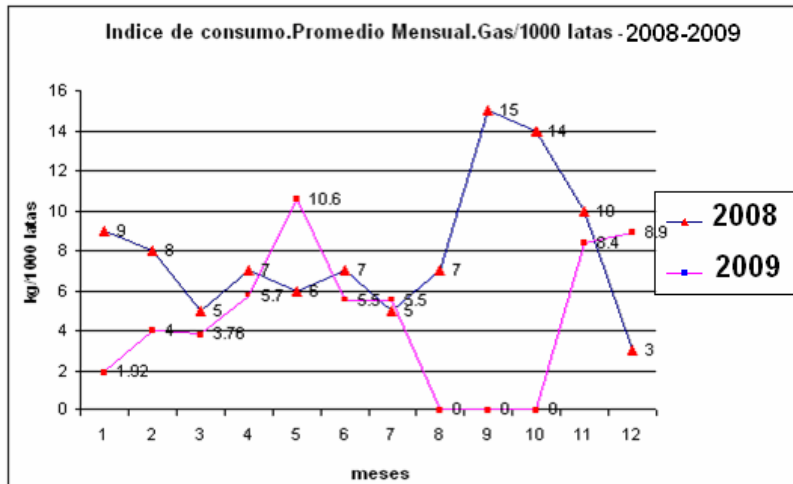


Figura 2.9. Índice del consumo de gas/ 1000 latas 2008-2009.

Como se aprecia se alcanzó el 32,5 % de la producción de un plan de 220 millones de latas producto a las reiteradas paradas por averías, falta de materias primas y materiales que no permitieron estabilizar la producción, promediándose 6 millones de latas por mes cuando el plan era de 20 millones. En 2009 el promedio por mes es de 4,6 millones de latas.

Se hizo un estudio de las mejores producciones el índice alcanzado de consumo de energía eléctrica fue de 41 kW/ 1000 latas y el de gas de 2 Kg./1000 latas por lo que se puede llegar a la conclusión que hasta que no se logre una estabilidad del proceso productivo no se podrá mejorar este indicador.

Análisis del comportamiento histórico energético de la empresa. Curvas de comportamiento

El comportamiento del consumo de energía de la empresa ha sido muy inestable debido a las causa antes señaladas y esto se puede apreciar en las gráficas que se muestran a continuación. Ejemplo de ello se observa en la tabla 2.7. y los siguientes gráficos que le siguen a continuación.

Tabla 2.8.Comportamiento histórico energético de la empresa 2007- 2009, ENVAL.

Mes	2007			2008			2009		
	MWh	Prod. Latas (Millar)	MWh x millar	MWh	Prod. Latas (Millar)	MWh x millar	MWh	Prod. Latas (Millar)	MWh x millar
Ene	97.3	0	0	298	4110.5	0.072	351.6	6722	0.052
Feb	108.7	0	0	473.7	8170	0.058	132.8	1798	0.074

Mar	52.9	0	0	283.8	5049	0.056	554.9	10967	0.051
Abr	55.1	0	0	48.9	2404.3	0.02	101.8	635.4	0.16
May	130.9	0	0	512.5	7983.8	0.064	158.4	1720	0.096
Jun	205.3	494	0.416	491.7	7340.8	0.067	590	7715	0.075
Jul	155	604.96	0.256	558.3	10027.8	0.056	563,3	6978,7	0,079
Ago	235.6	2074.8	0.114	142.8	671.5	0.213	46,6	84,36	0
Sep	211.3	1466.8	0.144	388.1	49979.1	0.008	27,3	0	0
Oct	254.8	1965.74	0.13	494.4	4006.3	0.123	20,2	0	0
Nov	119.9	859.2	0.14	485.8	5253.1	0.092	299,5	3068,5	0,096
Dic	115.2	433.2	0.266	605.37	11544.4	0.052	204,3	1734,3	0,115
Total	1742	7899	1.464	4783	116541	0.883	3050,7	41423,12	0,798
Prom	145	1128	0.209	399	9712	0.074	254,2	4602,6	0,089

Al desarrollar el análisis de la figura 2.8 y 2.9 se aprecia que el mayor consumo de gas y electricidad esta en los meses de mayo a septiembre, siendo además el consumo y gasto de diesel bastante estable durante el año y en los periodos analizados.

Cabe señalar que son precisamente estos meses los de mayor productividad histórica para esta planta productiva (ENVAL).

La figura 2.8 representa el consumo del comportamiento de consumo de energía eléctrica del 2007 al 2009 y el mayor consumo esta dado en junio del 2007 con 0,42 MWh/1000 latas.

La figura 2.9 representa el comportamiento histórico del 2007 al 2009, donde en diciembre del 2008 se comporto con 600 MWh.

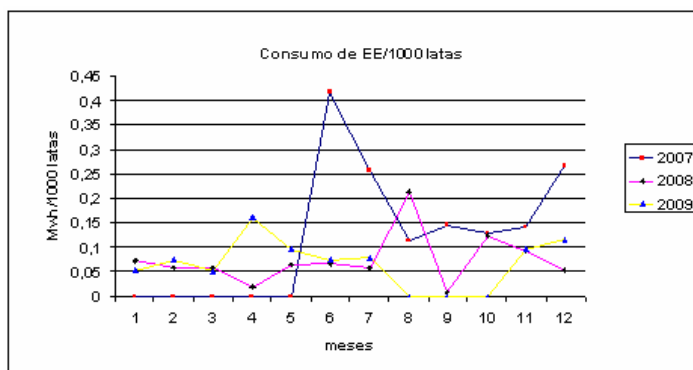


Figura 2.10. Consumo de latas 2007- 2009.

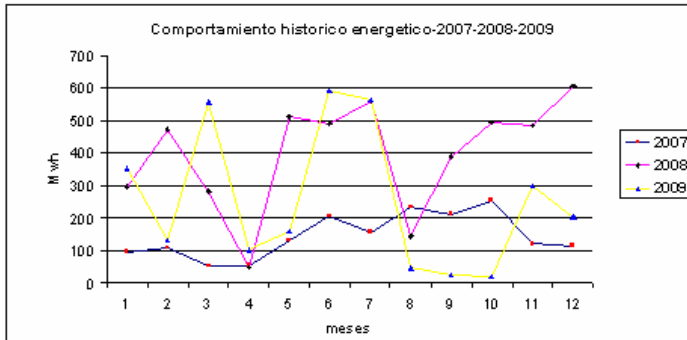


Figura 2.11 Comportamiento histórico energético 2007- 2009.

Factores fundamentales que influyen en el consumo energético de la empresa.

Entre los factores que inciden en el consumo y los costos energéticos tenemos:

Nivel de producción: El nivel de producción se encuentra muy por debajo de la producción de diseño producto a los factores objetivos que nos afectan como son averías faltas de algunos insumos, piezas de repuestos y subjetivos como la organización.

Temperatura ambiente: Este parámetro en la línea de producción es muy alto, en algunas partes ha alcanzado valores superiores a los 40 ° C. Se han hecho estudios por el órgano de medicina del trabajo; se determinó que la temperatura y la ventilación no es la adecuada, afectando las condiciones de trabajo y provocando interrupciones por fallas ocasionadas al sistema automático en el proceso.

Cantidad de interrupciones: El proceso de fabricación de envases es un proceso continuo y de alta complejidad. Los equipos tecnológicos fueron diseñados con características específicas para trabajar ininterrumpidamente y que la línea de producción pueda funcionar con el máximo de eficiencia.

Tabla 2.9. Afectaciones por fallos eléctricos 2007-2009 ENVAL.

Total de afectaciones por fallas del fluido eléctrico en el 2008					Total de afectaciones por fallas del fluido eléctrico en el 2009			
Mes	Duración de la falla (Hora.Min .Seg)	Tiempo perdido en la línea (Hora.Min .Seg)	Pérdidas de latas	Cantidad de interrup.	Duración de la falla (Hora.Min. Seg)	Tiempo perdido en la línea (Hora.Min .Seg)	Pérdidas de latas	Cantidad de interrup.

Ene.	00:00:00	00:00:00	0	0	0:00:05	0:35:00	2000	1
Feb.	00:00:23	03:17:00	15000	5	0:30:10	2:35:00	0	3
Mar.	00:00:10	02:20:00	7000	2	0:00:00	0:00:00	0	0
Abril	00:00:00	00:00:00	0	0	0:00:00	0:00:00	0	0
May	00:00:00	00:00:00	0	0	0:00:00	0:00:00	0	0
Jun.	00:00:50	01:55:00	12400	10	20:31:05	3:43:00	23000	23
Jul.	00:00:37	01:35:00	13000	8	2:45:40	8:22:00	21720	10
Ago.	00:00:00	00:00:00	0	0	0:00:00	0:00:00	0	0
Sep.	00:00:03	00:30:00	0	1	0:00:00	0:00:00	0	0
Oct.	00:00:00	00:00:00	0	0	0:00:00	0:00:00	0	0
Nov.	00:00:55	04:01:00	32000	11	0:00:00	0:00:00	0	0
Dic.	00:00:25	03:17:00	12000	5	0:00:10	0:50:00	200	2
Total	00:03:23	16:55:00	91400	42	23:47:10	16:05:00	46920	39

La tabla 2.9 se aprecia las afectaciones que ha tenido la empresa en los años 2007-2009 debido a la falta de fluido eléctrico por averías, se da a conocer por meses el tiempo de duración de las fallas(horas, minutos y segundos), tiempo perdido en la línea(horas, minutos y segundos), pérdidas de latas por producir y cantidad de interrupciones. La mayor duración de la falla fue en el 2009 con 23 horas, 47 minutos y 10 segundos; mayor tiempo perdido en la línea 16 horas, 55 minutos y cero segundo en el 2008 este mismo año hubo mayores pérdidas de latas con 91400 con 42 interrupciones.

Después de cada parada se tiene que estabilizar cada micro proceso en particular y posteriormente sincronizarlos. Dependiendo del tiempo de parada, el arranque de la línea puede demorar de 4 hasta 24 horas (por posible aparición de fallas en el momento de arranque).

La línea de producción cuenta con una potencia instalada de 1885,7 kW., durante el proceso se consumen hasta 25 000 kWh, al iniciar el arranque hay un consumo de 3 468 kW sin producción, (4 horas como mínimo para lograr la sincronización de la línea), obteniéndose una pérdida considerable en CUC.

En la tabla 2.9 se muestran las afectaciones que inciden en el consumo y los costos energéticos debido a los fallos eléctricos por diferentes causas, ya en el 2009 aunque no

es determinante se observa una ligera disminución en la cantidad de fallo y por ello en la pérdida de unidades elaboradas (latas).

La figura 2.12 representa el consumo de energía de los años 2007- 2008 y 2009 donde los mayores consumidores estuvieron dados en diciembre del 2008 y junio del 2009 con un consumo de potencia igual a 600000 kWh.

La figura 2.14 se aprecia el costo de energía eléctrica de los años 2007-2008 y 2009, donde el mayor costo esta centrado en junio del 2009 con 40000 CUC.

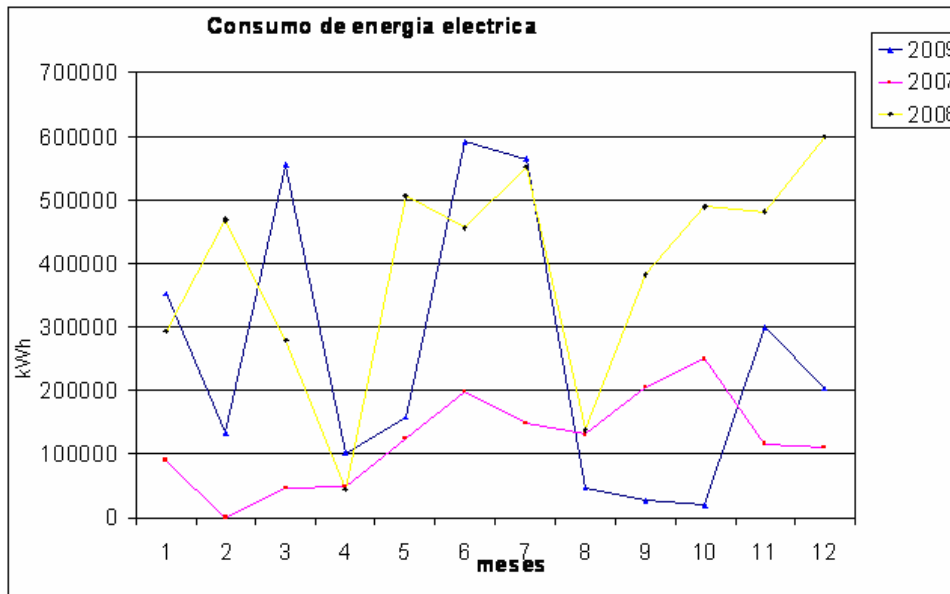


Figura 2.12. Consumo y gastos por meses y año de la empresa de envases de aluminio.

Como se mostró en la figura 2.12, los equipos de fuerzas son los que representan el mayor consumo de la empresa en la tabla 2.11 se relacionan.

Tabla 2.11. Consumo eléctrico de los equipos de fuerza de la empresa y el porciento que representan.

No	Equipos	Pn x Factor de uso	Potencia Real kW	%
1	Comp. INGERSOLL 1	55 kW x 0.5	27,5	2,2
2	Comp. INGERSOLL 2	55 kW x 0.5	27,5	2,2
3	Coolant Filter	80 kW x 0.4	32,0	2,4
4	I.B.O	51.4 kW x 0.7	36,0	2,5
5	Horno de Pines	51.5 kW x 0.7	36,1	2,6
6	L.C.P. No 3	52.5 kW x 0.7	36,8	2,6
7	Prensa de Copas	87.4kW x 0.7	61,2	4,6
8	L.C.P No 2	102.3kW x 0.7	71,6	5,4

9	Comp. COMPAIR 1	175kW x 0.5	87,5	6,0
10	Comp. COMPAIR 2	175kW x 0.5	87,5	6,0
11	Lavadora	167kW x 0.7	116,9	8,8

La Figura 2.13 representa gráficamente la panorámica de la Tabla 2.11 donde se observa que son los compresores y lavadoras los mayores consumidores de la empresa.

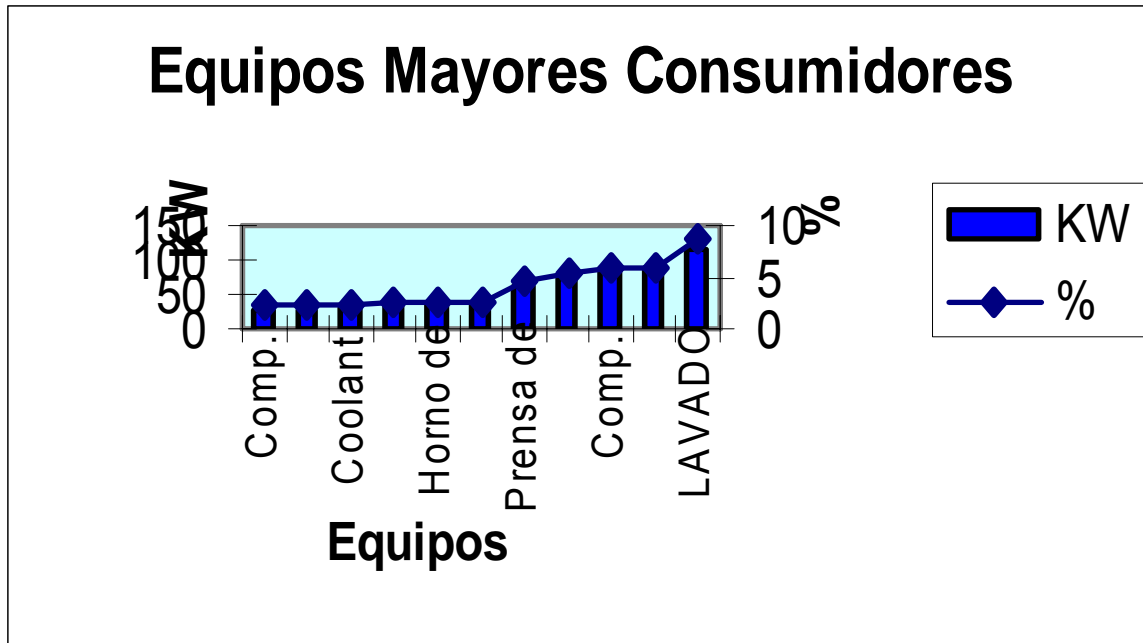


Figura 2.13. Equipos de mayores consumidores.

Los parámetros de alumbrado y climatización se mostrarán seguidos en las tablas 2.12 y 2.13 respectivamente.

El alumbrado constituye el 4.2% del consumo total de electricidad de la Planta.

La tabla se aprecia los paneles de alumbrado con su potencia nominal por el factor de uso, potencia real y el porcentaje de cada consumidor quien consume mayor potencia es el panel 3.

Tabla 2.12. . Consumo eléctrico del alumbrado ENVAL.

No	Consumidor	Pn(kW) xFactor uso	Preal (kW)	%
1	PA3	21.45 x 0.8	17,2	28
2	PA2	20.27 x 0.8	16,2	27
3	PA1	7.8 x 0.8	6,2	10
4	PA9	5.8 x 0.8	4,6	7
5	PA6	4.57 x 0.8	3,6	6
6	Al. Ext.	3.87 x 0.8	3,0	5

La Climatización constituye el 2.6% del consumo eléctrico total de la Fábrica y sus principales consumidores son:

Tabla 2.13 . Consumo eléctrico por concepto de climatización

Nro.	Consumidor	Potencia Real (kW)	%
1	Alm. Prod. Químicos.	11.04	29
2	Oficinas de la planta.	10.02	26
3	Herramental.	7.38	19
4	Administración.	0.18	10

La tabla 2.13 representa los principales consumidores de climatización el de mayor potencia es el almacén de productos químicos con 11,04 kW para un 29 por ciento.

Influencia de los gastos energéticos en el costo de producción.

Un dato que nos ofrece la correcta utilización de la energía eléctrica lo es sin duda el consumo de kWh contra el costo de la generación en CUC.

Como en los años ha existido una disminución del consumo con respecto a la producción y el pago de su valor en moneda libremente convertible.

La producción rechazada en este periodo analizado asciende a 5189.749 latas lo que equivale a una pérdida de 350411.82 CUC. La producción rechazada es el factor de mayor influencia cuantitativa, comparándolo con los demás se llega a la conclusión que en la reducción de estas pérdidas radica el potencial de ahorro.

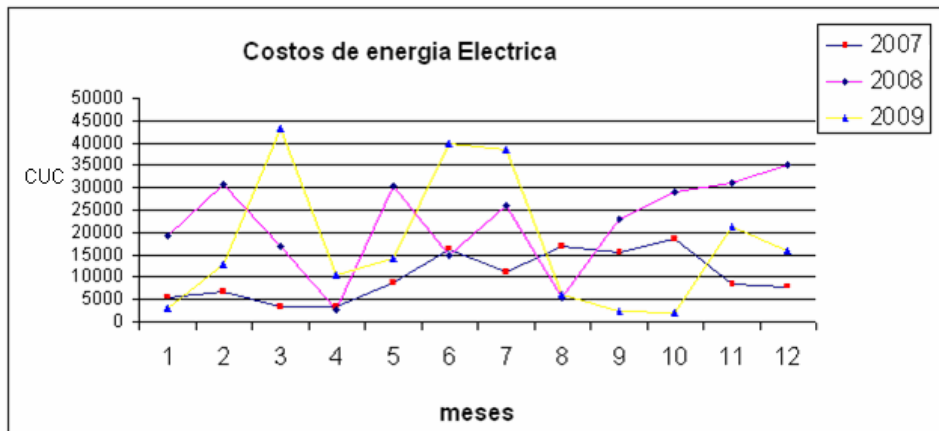


Figura 2.14. Consumo y gastos por meses y año de la empresa de envases de aluminio.

Resultados del diagnostico de recorrido del equipamiento.

El estado técnico del equipamiento es bueno, por ser una planta nueva de tecnología moderna altamente automatizada, no obstante presenta algunas deficiencias que atenta contra una mejor eficiencia:

- 1 No existe instrumentación para el control del gas GLP por equipos (3 hornos y un calentador de agua)
- 2 Existen pequeños salideros de aceite en diferentes equipos principalmente los bodymakers
- 3 Salideros de aires en diferentes puntos de la planta
- 4 Necesidad de un sistema de automatización para el suministro de agua a la planta que le permita la desconexión del bombeo cuando no se requiera.
- 5 Necesidad de un plan de mantenimiento para el sistema de los intercambiadores de calor de la lavadora
- 6 No se controlan los parámetros técnicos ni de operación del sistema aire comprimido
- 7 El banco de transformadores se encuentra a un 42,5 % de explotación de su capacidad nominal
- 8 El banco de condensadores es insuficiente lo que provoca un bajo factor de potencia lo que provocó que en año 2007 y 2008 se pagaran en total 10 954.55 CUC por penalización, en 2009 por esta causa se pagaron 8067.11CUC.

Comportamiento histórico del Factor de Potencia.

Al desarrollar un análisis de consumo y gasto energético y en especial eléctrico es imprescindible tomar en cuenta el comportamiento del factor de potencia de las instalaciones industriales.

Tabla 2.14. Penalizaciones y bonificaciones por bajo factor de potencia. 2007-2009

Mes	2007		2008		2009	
	FP	\$	FP	\$	FP	\$
E	0,94	92,18	0,85	-820,64	0,84	-1864,76
F	0,94	156,57	0,85	-1214,14	0,84	-786,26
M	0,96	67,18	0,87	-446,97	0,85	2409,64
A	-0,87	-140,3	0,9	0	0,85	-524,24
M	-0,88	-125,57	0,99	727,48	0,82	-1195,7
J	0,9	0	0,84	-1249,05	0,86	-1287,51
J	-0,89	-73,16	0,84	-1386,6	0,87	-589,65
A	-0,88	-330,39	0,85	-410,14		
S	0,98	184,14	0,84	-1028,15		
O	-0,8	-1274,17	0,85	-1054,07		
N	-0,86	-311,4	0,86	-865,06		
D	-0,88	-224,74	0,99	1722,61		
SubTotal		2479,73		8474,82		
Total	10 954,55 CUC				8067.11 CUC	

Se aprecia el comportamiento del factor de potencia del año 2007 que se elevó en el mes de septiembre con 0.98 de factor de potencia y en MLC 184.14 CUC.

El comportamiento del factor de potencia en el año 2008 y se aprecia en diciembre se comportó con 0,99 para 1722.61 CUC, esto es debido a que en otros meses se hicieron muchas interrupciones por falta de materia prima.

El comportamiento del factor de potencia del año 2009 y se aprecia que el mayor mes estuvo dado en marzo.

El simple análisis visual nos demuestra que esta empresa ha sido sancionada en múltiples ocasiones debido al bajo factor de potencia, (anexo 4). Esto ocurre cuando el Fp se encuentra por debajo de 0.90

2.4. Conclusiones

Al resumir los datos extraídos y presentados hasta aquí hay que comenzar aclarando que esta empresa es relativamente joven por lo que un criterio acertado y general puede ser precipitado.

Se ve que existe una variación bastante constante en sus parámetros de gastos y consumo aunque no están a la altura para ser llamados factibles.

Los gastos totales de la empresa tienden a crecer según se incremente la producción y se incorporen a totalidad de los equipos que componen el proceso productivo, que actualmente se encuentran fuera de servicio. Con ello se determinara mas acertadamente la política y el plan a seguir.

.

.

CAPITULO III

Propuesta de Medidas para Mejorar la Eficiencia Energética

Introducción

Propuestas para mejorar la eficiencia energética

Análisis Económico

Conclusiones

3.1 Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo proponer medidas para mejorar la eficiencia energética en el uso de la energía eléctrica en la empresa, a partir de las ineficiencias detectadas en el proceso de diagnóstico energético. Así como realizar una valoración económica de las mejoras propuestas.

3.2 Propuestas para mejorar la eficiencia energética.

Evaluación del plan de medidas existente en la empresa.

- Potenciales cualitativos en el sistema de monitoreo y control.
- Se encuentra definido el porcentaje de gastos energéticos con relación a los costos totales de producción. Esta definido el peso que tiene cada portador en el consumo y en el costo total de la energía.
- Se realiza el monitoreo y control de la eficiencia, se tienen registros de la misma, basados en índices de consumos.
- Se planifica el consumo de portadores, y el monitoreo y control de de las áreas y equipos mayores consumidores.
- Se monitorean los índices de consumo al nivel de empresa. No así el de eficiencia y económicos energéticos. Las áreas y equipos no cuentan con estándares y metas de consumos fundamentadas técnicamente.

- Están identificados los recursos humanos que más influyen en la eficiencia energética así como los problemas de prácticas ineficientes de estos. El nivel de competencia es el adecuado para la labor que realizan.
- Potenciales cualitativos en la concientización, motivación y capacitación de los recursos humanos.
- Es insuficiente la capacitación y recalificación de los recursos humanos. La fluctuación del personal es elevada producto a las rigurosas condiciones de trabajo y la falta de motivación y estimulación. A pesar de todas de estas deficiencias se ha realizado un plan de medida con vista a reducir los consumos y mejorar los índices de eficiencia.

Impacto y riesgo ambientales del manejo de la energía.

La planta genera desechos sólidos y aguas residuales que pueden afectar el medio ambiente, los cuales están controlados, realizándoles análisis periódicos que garanticen que cumplan con las normas establecidas por el CITMA.

Medidas para mejorar la eficiencia energética.

En la búsqueda de medidas que contribuyeran al mejoramiento de la eficiencia energética después de un estudio de las características energéticas de la empresa, la estructura del consumo eléctrico, el plan de medidas existente, el proceso de producción y los resultados del diagnóstico de recorrido, se propone los siguientes proyectos de mejoras:

Organizativas.

- Crear una secuencia en los arranques para disminuir el aumento de la demanda que se genera en este momento de la puesta en marcha.
- Implantar el control de la toma de lecturas por turnos.
- Establecer una emulación entre los turnos.
- Realizar un programa de medidas de ahorro para bajar la demanda en el horario pico.
- Establecer dentro del sistema de estimulación la bonificación por ahorros de portadores energéticos, en especial al personal que influye directamente en esos ahorros.

- Integrar la preparación, la divulgación y la información energética, a fin de aumentar la educación hacia el control y el uso racional de la energía.
- Gestionar la compra de los instrumentos de control del consumo de gas de los hornos y calentador.
- Gestionar la compra del sistema de automatización del bombeo de agua.
- Controlar los parámetros técnicos operacionales de los compresores.
- Eliminar los salideros de aceite y de aire.
- Mejorar la organización del proceso productivo para eliminar la inestabilidad operacional.
- Que se apliquen los índices de eficiencia y económicos energéticos.
- Concluir la elaboración de las fichas técnicas de los motores.

Mejoras del factor de potencia.

Cómo se puede observar esta instalación presenta un bajo factor de potencia lo que trae grandes afectaciones en la eficiencia energética así como Pérdidas por calentamiento en cables y transformadores y motores.

Desgaste prematuro del equipo por exceso de calentamiento causado por el bajo voltaje. Provoca penalizaciones que aumentan el costo de la energía eléctrica.

La instalación con la aplicación de medidas presentaba un factor de potencia de 0.85 que resultaba penalizado de forma reiterada, el factor de potencia propuesto fue de 0.96, con una capacidad máxima de 1128 kW; el calculo arrojó la necesidad de instalar 431.8 kVAR. Se propuso la instalación de un banco de capacitares de 431.8 KVARc en la entrada de la instalación con regulación automática debido a la magnitud del banco y su relación superior al 10 % con respecto a los transformadores, par evitar sobre compensación.

Capacidad instalada: 431.8 kVARc

Fabricante MARLIN GERIN

Tipo: 1,3 R,12

Voltaje: 380 Volts

Frecuencia: 60Hz

Automático 6 pasos

120 vasos de 2.97 kVARc



Figura 3.1. Muestra del banco propuestos.

Capacidad liberada por el aumento del factor de potencia.

Se denomina capacidad liberada a aquel valor de potencia que se encuentra en el sistema pero no es utilizado.

Luego de la mejora del factor de potencia de ambas plantas, podemos agregarle cargas al sistema puesto que con la compensación del factor de potencia se obtiene un rescate de capacidad en el sistema.

Una de las formas que se utiliza para calcular este rescate de capacidad es utilizando las expresiones que se recogieron en el capítulo 1

$$S_2 = S_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}$$

Donde:

S_1 : potencia aparente instalada

S_2 : potencia aparente después de la compensación

$\cos \varphi_1$: antes de la mejora.

$\cos \varphi_2$: después de la mejora.

Con el valor total de kVA(S_1) y el obtenido luego de la mejora, obtiene la capacidad liberada, es decir:

$$S_1 - S_2$$

Cálculo del valor de la capacidad rescatada.

Utilizando la expresión se obtiene la potencia aparente después de compensar el reactivo.

$$S_2 = 602 \text{ kVA}$$

Se libera 78 kVA

Como podemos observar, al aumentar el factor de potencia nos trae un rescate de potencia y con ella una mejor calidad en el suministro de energía así como la disminución en las pérdidas.

Corrientes antes y después de la mejora del factor de potencia.

$$I = \frac{P * 10^3}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sustituyendo en la expresión anterior obtenemos los siguientes resultados

$$I = 1457.1A$$

Después de la mejora

$$I = 678.6 A$$

Como se observa hay una disminución de corriente al 46.5 %, producto al mejoramiento del factor de potencia, por lo que consideramos que deben ser ajustadas las protecciones de sobrecorriente.

Potencia liberada después de la compensación.

$$P_L = P_1 \left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)$$

$$P_L = 129.25 \text{ kW}$$

Incremento de voltaje a causa de la compensación.

Cuando se conectan un banco de condensadores en la carga ocurre una elevación de voltaje en el secundario del transformador.

$$\Delta U\% = \frac{CkVA}{kVA_n} * X\%$$

$$\Delta U\% = 1.08\%$$

Generalmente, la elevación de voltaje que los condensadores producen en las industrias, de acuerdo con los valores más usuales de reactancia en tanto por ciento, capacidad nominal y capacidad en kVAC, oscila entre 1% y 5%.

3.3. Cálculo económico.

En la actualidad en la empresa la eficiencia se ha convertido en un pilar en la estabilidad económica. Se están desarrollando trabajos con el fin de dar solución a la problemática actual, de forma rápida y económica y además que cumplan los requisitos de una distribución adecuada de la energía eléctrica con un suministro eléctrico con calidad, estabilidad y fiabilidad y lo más importante: Evitar pérdidas, que en esta empresa pueden ser elevadas

Flujo de Caja	2010	2011	2012	2013
Banco Cap	10628 CUC			
Gasto y Ahorro Por Pen	-10628	8475	8475	8475
Actualización	-10628	7567	6756	6032
Actualización Neta	-10628	-3061	3695	9727
VAN	9727			
Tir	60%			
Tiempo Rec	1	Año	5	Meses
B/C	1,92			

El importe total del banco capacitores fue de CUC 10628.00. El periodo de Recuperación será de 1.5 años.

Análisis del régimen de trabajo del transformador.

En empresa existe un banco de transformador en buen estado técnico compuesto por dos transformadores trifásicos de 1600 kVA. Cada uno conectados en paralelo. Con los siguientes datos técnicos:

Tipo: 1600/34.5/33 – B2-0-PA.

Potencia: 1600 kVA.

Tensión primario (Alta): 33 kV

Tensión Secundario (Baja): 0.4 kV

Corriente Primario: 27.99 amperes.

Corriente secundario: 2309.4 amperes.

Tipo de conexión: D-Yn – 11.

Tipo de aislamiento: Aceite.

Analizándose las características reales de la carga y calculando la capacidad útil es de 2656 kVA y esta utilizado solo un $K_c=42.5\%$ por lo que se ha pagado en Pérdidas de transformación las siguientes cantidades de CUC, tabla 3.1:

Tabla 3.1: Pago en valores debido a las pérdidas en los transformadores.

2007	Consumo (kWh)	Prom (KiWh)	Valor CUC	Prom CUC
T-1	44780	3731,7	3.213,84	267,82
T-2	25470	2122,5	1.830,48	152,54
S.Total	70250	5854,2	5.044,32	420,36
2008				
T-1	33513	2792,75	2.047,70	170,64
T-2	33804	2817	2.063,73	171,98
S.Total	67317	5609,75	4.111,43	342,62
2009				
T-1	30048	3004,8	1.869,10	186,91
T-2	28715	2871,5	1.772,82	177,28
S.Total	58763	5876,3	3.641,92	364,19
Total				1127.17

Reducción de Pérdidas de transformación

Para realizar el estudio de reducción de Pérdidas por transformación se utilizaron los datos de la facturación del año 2009 que contemplo los 2 transformaciones de 1600 kVA. Como anteriormente se comprobó los transformadores de diseño están subcargado a un 42.5 %. Por lo que se recalculo las Pérdidas de transformación para 2 transformadores de 800 kVA y un factor de potencia de 0.96 % y comparar los resultados.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 3.2. Pérdida de transformadores de 800 kVA. y Fp 0.96.

Transformador	kWh T1600	kWh T-800	Diferencia kWh	CUC T-1600	CUC T-800	Diferencia CUC
T1	33513	32778	735	2047.70	1823.28	224.42
T2	33804	32051	1753	2083.73	1931.90	151.83
Total	67317	64829	2488	4111.43	3755.18	376.25

Como se puede observar se reducen 2488 kWh de Pérdidas y 376.25 CUC.

También se realizó el cálculo para un solo transformador, elevando el factor de potencia de 0.85 a 0.96 a continuación se muestra los resultados.

Tabla 3.3: Pérdida para un transformador Fp 0.85-0.96.

Transform.	kWh T1600	kWh T-800	CUC T-1600	CUC T-800	Factor de potencia
T1	33513	32778	2047.70	1823.28	0.85
T2	32150	30985	1823.28	1693.16	0.96
Diferencia	1363	1796	224.42	130.12	

Como se puede observar que elevándose el factor de potencia disminuye las Pérdidas de transformación.

Teniendo en cuenta la máxima demanda alcanzada en toda la trayectoria de trabajo es de 1128 kW. Se propone desconectar un transformador, que se utilizaría en un 84.9 % de su capacidad lo que disminuiría las Pérdidas en un 50 %. Dejándose de pagar por este concepto en un año \$ 2055.72 USD.; tomando como referencia el año 2009.

Con los proyectos de mejoras tenemos como resultados finales un ahorro de 8 8851.07 CUC por año tomando como referencia el 2009.

Tabla 3.4: Propuesta de mejoras y su ahorro en CUC.

Propuesta de Mejora	Ahorro (CUC)
Por reducción de las Pérdidas de transformación	376.25
Por mejora del factor de potencia	8 474.82
Total	8 851.07

3.4. Conclusiones

Como ha mostrado este capítulo vemos que desde temprana explotación se puede ir realizando operaciones y ajuste al sistema energético, siempre tomando en cuenta el impacto económico que representa para dicha empresa.

En este capítulo se observó en los cálculos de las pérdidas del transformador de 1600 kVA con un factor de potencia de 0.96.

Conclusiones.

Se mejoró la eficiencia del sistema de suministro eléctrico de forma integral y sostenida haciéndolo más operativo, flexible y confiable, a partir de la disminución en las pérdidas de energía en los transformadores y líneas; con una adecuada compensación de la potencia reactiva, con un ahorro de energía en el año de 2488 kWh.

Se proponen medidas para el ahorro de energía eléctrica con un beneficio económico de 8 8851.07 CUC.

Se demuestra que es necesario la desconexión de un transformador pues el mismo puede asumir la carga instalada de toda la industria con una reducción de pérdidas y costos y un mejor factor de potencia.

En la caracterización del sistema eléctrico de la planta se recopiló toda la información necesaria, diagnosticando los cambios realizados con motivo a la automatización del proceso llevada a cabo durante los últimos años.

Recomendaciones

- Completar el proyecto de mejorar el factor de potencia conectando condensadores locales en las cargas que influyen negativamente y realizar estudio de armónicos.
- Diseñar e implantar esquema de conexión y desconexión automática de los transformadores de alimentación de 1600 kVA. por el primario para disminuir las pérdidas.
- Continuar con la búsqueda de medidas técnicas organizativas, oportunidades de ahorro, conservación de la energía, reducción de los gastos y los costos energéticos que nos permitan reducir los índices de consumo, ser más eficientes y elevar la competitividad.

Bibliografía.

1. Balcells. J . Medida de la calidad de la red eléctrica Electra Nro. 105 febrero 2001
[http/ energía. com](http://energía.com).
2. Billinton, Roy. "Power System Reliability Evaluation. Ediciones Revolucionarias. La Habana, 1984.
3. Campos Avella, Juan C. ; Leonardo Santos Macias y Osmel Cabrera. Análisis termo económico: herramienta para establecer acciones de ahorro y conservación de la energía. Revista construcción Maquinaria (Cuba). 2: Mayo- Agosto, 1995.
4. Catálogo Dispositivos y sistemas para el ahorro de energía.1996
5. COLECTIVO DE AUTORES. Gestión energética empresarial. Editorial universidad de Cienfuegos, 2002.
6. COLECTIVO DE AUTORES. Temas especiales de sistemas eléctricos industriales. Editorial universidad de Cienfuegos, 2002.
7. Colectivo de expertos. Ahorro de energía en proceso. Revista Energía. No 3. 1986
8. Crespo, Infante, E. Compensación de potencia reactiva en presencia de convertidores. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1987.
9. De Quesada, Martínez. A. Optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1988.
10. Electrónica Básica – La Habana; Editorial Pueblo y Educación, 1976.
11. Electrónica II, Kazatin, Aleksanders, Maquinas eléctricas, La Habana, Editorial Pueblo y Educación 1984.
12. Equipo electrónico para transmisión de datos. Juan .U. Lorenzo, Yinori; La Habana editorial Pueblo y Educación 1983.
13. Feodorov, A.A; Rodriguez L, E. Suministro eléctrico de empresas industriales. Editorial Pueblo y Educación.1980.
14. Fernández Candes, Emilio. Termodinámica técnica, La Habana- Editorial pueblo y educación 1994.

15. García, Barreto, J. Potencia reactiva en los sistemas electroenergéticos. Editorial Ciencias Técnicas. 1988.
16. GONZALEZ JORDAN, R.; Ahorro de energía en Cuba. La Habana: Editorial científico –técnica, 1986.
17. Gutiérrez Pulido, Humberto. La calidad total y el ahorro de energía. Universidad de Guadalajara. 1983.
18. Haug, Ramírez. C. Planificación de potencia reactiva en los sistemas. Revista Ingeniería Electroenergética. No 4, 1985.
19. Maliuk, Petrovna. S. Factor de potencia en la industria. Editorial Oriente. 1980.
20. Mazorra, Soto. J. Metodología para la minimización técnico económica de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales. Revista Energía. No 1, 1986.
21. Norma Cubana. Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 6. NC IEC 61000-6:2003.
22. Norma Cubana. Requisitos de diseño para la eficiencia energética—parte 3: Sistemas y equipamiento de calefacción, ventilación y aire acondicionado. NC-TS 220-3: 2005.
23. Power Factor. Application Guide. 1996.
24. Power Systems. Reactive power compensation. 1994. Equipo eléctrico de la centrales termoeléctrica / E.D Dobrodeev, LD. Rozhkova, Moscú 1986.
25. REDONDO QUINTERO, F.; GARCIA ARÉVALO, J. M; N. REDONDO MELCHOR.; Desequilibrio y pérdidas en instalaciones eléctricas. [En línea] [2003-01-09].
26. Sitio Web <http://www.energuia.com>.

Relación de Anexos.

Anexo 1. Estructura general de gastos en MLC y MN, ENVAL.

Anexo 2. Consumo y costo de los consumidores.

Anexo 3. Grafico de los consumos.

Anexo 4. Penalizaciones por bajo factor de potencia.

Anexo 5. Estadísticas de la producción 2007 2008 2009.

Anexo 6. Mediciones realizadas.

Anexo # 1 Estructura general de gastos en MLC y MN, ENVAL.

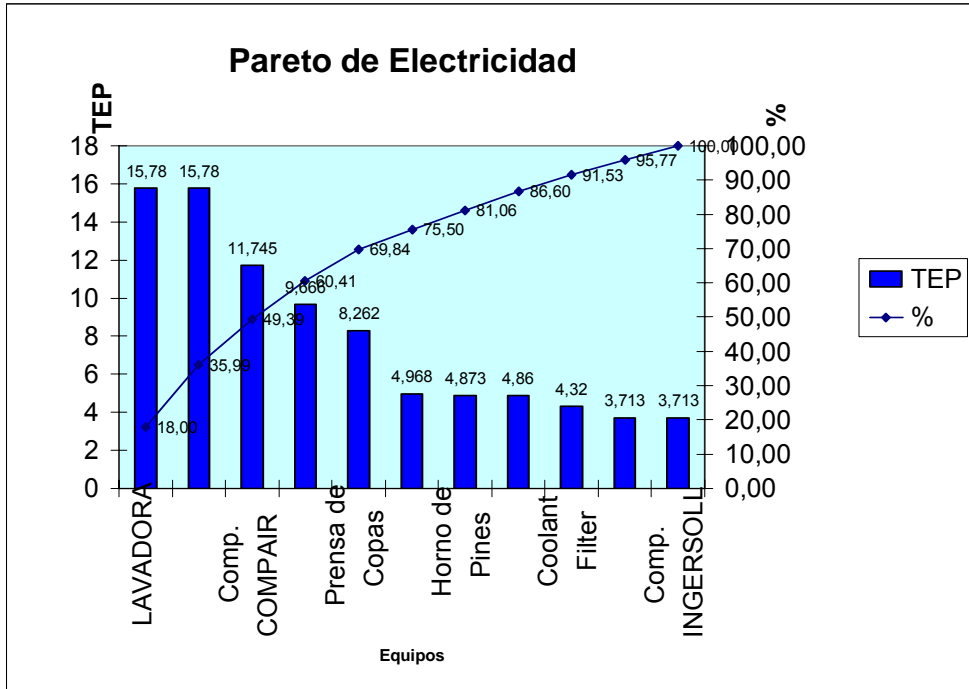
Elemento de Gastos	Año 2008			Año 2009		
	MP(USD)	MP(MN)	Total	MP(USD)	MP(MN)	Total
Mat. Prima	4733.8	134.9	4868.7	2654,4	303	2957,4
Combustibles	194.7	1.1	195.8	40,8	0,4	41,2
Energía	362	0	362	244	0	244
Amortizaciones	158.9	15.8	174.8	1029,8	297,1	1326,9
Otros Gastos	510.6	321	831.6	304,1	475,6	779,7
Salario	0	594.4	594.4	0	582,3	582,3
Seguridad Social	0	85.1	85.1	0	223,5	223,5
Total	5960	1152.3	7112.4	4273,1	1881,9	6155

Elementos de costos	U/M	2008	2009
Costo Producción Mercantil	MP	7112.4	5480,7
Costo Producción vendida	MP	4110.9	5480,7
Producción Mercantil	MP	4446.5	3484,5
Producción Bruta	Millar	71541	41423,12

Anexo # 2 Consumo y costo de los consumidores.

Area	Consumo . Tep/año	Costo, \$/año	% Cons. Elect.	% Cons. Empres a	% Costo Empres a	% Aum. Electric idad
LAVADORA	15,78	1681,49	18,00	1,13	18,84	18,00
Comp. COMPAIR No 2	15,78	1258,74	18,00	1,13	14,10	35,99
Comp. COMPAIR No 1	11,745	1258,74	13,40	0,84	14,10	49,39
L.C.P No 2	9,666	1029,99	11,02	0,69	11,54	60,41
Prensa de Copas	8,262	880,39	9,42	0,59	9,86	69,84
L.C.P. No 3	4,968	529,38	5,67	0,36	5,93	75,50
Horno de Pines	4,873	519,32	5,56	0,35	5,82	81,06
I.B.O	4,86	517,88	5,54	0,35	5,80	86,60
Coolant Filter	4,32	460,34	4,93	0,31	5,16	91,53
Comp. INGERSOLL No 2	3,713	395,17	4,23	0,27	4,43	95,77
Comp. INGERSOLL No 1	3,713	395,17	4,23	0,27	4,43	100,00
Total	87,68	8.926,61	100	6,27	100,00	

Anexo # 3 Grafico de los consumos.



Anexo # 4

PENALIZACIONES POR BAJO FACTOR DE POTENCIA.

Mes	2007		2008		2009	
	FP	\$	FP	\$	FP	\$
E	0,94	92,18	0,85	-820,64	0,84	-1864,76
F	0,94	156,57	0,85	-1214,14	0,84	-786,26
M	0,96	67,18	0,87	-446,97	0,85	2409,64
A	-0,87	-140,3	0,9	0	0,85	-524,24
M	-0,88	-125,57	0,99	727,48	0,82	-1195,7
J	0,9	0	0,84	-1249,05	0,86	-1287,51
J	-0,89	-73,16	0,84	-1386,6	0,87	-589,65
A	-0,88	-330,39	0,85	-410,14		
S	0,98	184,14	0,84	-1028,15		
O	-0,8	-1274,17	0,85	-1054,07		
N	-0,86	-311,4	0,86	-865,06		
D	-0,88	-224,74	0,99	1722,61		
SubTotal		2479,73		8474,82		
Total	10 954,55 CUC				8067.11 CUC	

Anexo #5 Estadísticas de la producción 2007 2008 2009.

Mes	MWh	Millar Latas	MWh/M.latas	Prom. MWh	Prom+3 DesvStd	Prom-3DesvStd	Prom IC	Prom+3 DesvStd	Prom-3DesvStd	Prod	IC
ene-	97,3	0	0,0000	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	200	124
feb	108,7	0	0,0000	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	600	143
mar	52,9	0	0,0000	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	1.000	162
abr	55,1	0	0,0000	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	1.400	181
may	130,9	0	0,0000	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	1.800	200
jun	205,3	494	0,4156	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	2.200	219
jul	155	604,96	0,2562	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	2.600	238
ago	235,6	2074,8	0,1136	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	3.000	257
sep	211,3	1466,8	0,1441	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	3.400	276
oct	254,8	1965,74	0,1296	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	3.800	295
nov	119,9	859,2	0,1395	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	4.200	314
dic	115,2	433,2	0,2659	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	4.600	334
ene	298	4110,5	0,0725	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	5.000	353
feb	473,7	8170,0	0,0580	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	5.400	372
mar	283,8	5049,0	0,0562	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	5.800	391
abr	48,9	2404,3	0,0203	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	6.200	410
may	512,5	7983,8	0,0642	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	6.600	429
jun	491,7	7340,8	0,0670	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	7.000	448
jul	558,3	10027,8	0,0557	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	7.400	467
ago	142,8	671,5	0,2127	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	7.800	486
sep	388,1	4979,1	0,0779	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	8.200	505
oct	494,4	4006,3	0,1234	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	8.600	524
nov	485,8	5253,1	0,0925	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	9.000	543
dic	605,37	11544,4	0,0524	271,89	816,917	-273,136	0,1007	0,4054	-0,2040	9.400	563
Total	6525,37	79439,30	2,4173							9.800	582
Promed.	271,89	3309,97	0,1007							10.200	601
Desv.Std.	181,68		0,1016							10.600	620
ValorMáx	816,92		0,4054							11.000	639
Valor mínimo	-273,14		-0,2040							11.400	658
% E. No Asoc.	0,26									11.800	677
										12.200	696
										12.600	715
										13.000	734
										13.400	753
										13.800	772
ene	351588	6722	52,3041								
feb	132777	1798	73,8471								
mar	554957	10967	50,6024								

$$y = 0,0477x + 114,14$$

$$R^2 = 0,8503$$

abr	101829	635,4	160,259 7
may	158464	1720	92,1302
jun	590033	7715	76,4787
jul	563,3	6985,16	0,0806
ago	46,6	0	0,0000
sep	27,3	0	0,0000
oct	20,2	0	0,0000
nov	299,6	3068,5	0,0976
dic	204,4	1734,3	0,1179

14.200	791
14.600	811
15.000	830
15.400	849
15.800	868
16.200	887
16.600	906
17.000	925
17.400	944



Time	Current: Ia	Current: Ib	Current: Ic	Current: Iavg	Unbalance: Current	Voltage: Van	Voltage: Vbn	Voltage: Vcn	Voltage: Vab	Voltage: Vbc	Voltage: Vca	Voltage: Line	Unbalance: Voltage	Power: Pa	Power: Qa	Power: Sa	Power Factor: PFa	Power: Pb	Power: Qb	Power: Sb	Power Factor: PFb	Power: Pc	Power: Qc	Power: Sc	Power Factor: PFc
(Hrs)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(%)	(kW)	(kvar)	(kVA)	()	(kW)	(kvar)	(KVA)	()	(kW)	(kvar)	(KVA)	()
0	657	634	645	645	1,7	260	259	258	450	448	449	449	0,4	141,34	95,97	171,35	0,82	135	93,42	164,74	0,82	140,06	90,63	167,22	0,84
1	720	696	708	708	1,7	260	258	258	449	447	448	448	0,5	157,74	101,16	187,86	0,84	150,47	98,48	180,26	0,83	156,19	95,54	183,32	0,85
2	657	635	641	644	1,9	260	259	258	450	448	449	449	0,4	141,66	95,93	171,44	0,83	135,75	93,5	165,08	0,82	139,42	89,88	166,14	0,84
3	686	664	669	673	1,8	260	259	258	449	448	449	449	0,4	148,48	98,92	178,91	0,83	142,11	96,61	172,26	0,82	145,86	92,69	173,31	0,84
4	665	642	650	652	1,9	259	259	257	449	448	448	448	0,3	141,01	99,25	172,94	0,82	135,41	97,16	166,92	0,81	139,32	93,02	168,16	0,83
5	660	638	642	647	2	260	259	259	450	448	450	449	0,4	141,33	97,94	172,3	0,82	134,89	95,77	165,81	0,81	138,13	91,79	166,35	0,83
6	710	687	696	698	1,8	260	259	259	450	448	450	449	0,4	155,81	99,51	185,37	0,84	149,43	96,56	178,45	0,84	153,66	93,9	180,6	0,85
7	640	617	628	628	1,8	261	260	259	450	449	450	450	0,4	137	95,61	167,46	0,82	130,43	93,43	160,83	0,81	135,3	90,4	162,89	0,83
8	656	636	645	646	1,6	261	259	258	451	448	450	450	0,5	140,84	97,92	171,72	0,82	134,92	95,33	165,71	0,81	138,96	92,21	167,1	0,83
9	687	667	676	677	1,5	260	259	258	450	448	450	449	0,4	148,2	101,03	179,77	0,82	141,7	99,02	173,38	0,82	146,13	95,9	175,3	0,83
10	714	694	703	704	1,5	261	259	258	450	448	450	449	0,5	154,22	104,54	186,98	0,82	147,71	102,77	180,4	0,82	151,87	99,73	182,05	0,83
11	697	677	688	687	1,5	261	260	258	450	449	450	450	0,5	152,78	99,11	182,45	0,84	146,9	96,93	176,35	0,83	151,54	93,71	178,52	0,85
12	658	638	645	647	1,6	261	260	259	452	449	451	451	0,5	141,95	96,64	172,31	0,82	135,62	95,75	166,49	0,81	139,46	92,51	167,53	0,83
13	665	643	653	654	1,7	262	260	260	452	451	452	452	0,4	142,61	99,4	174,49	0,82	135,94	98,03	167,94	0,81	141,38	94,33	170,57	0,83
14	664	643	653	653	1,6	261	260	259	451	450	450	450	0,4	141,4	99,52	173,52	0,81	135,77	97,79	167,88	0,81	140,1	95,12	169,64	0,83
15	671	652	662	662	1,5	260	259	259	450	449	449	449	0,4	144,24	98,53	175,07	0,82	138,91	96,59	169,58	0,82	143,63	93,32	172	0,84
16	720	698	708	709	1,6	260	259	259	450	448	450	449	0,3	157,6	101,48	188,04	0,84	151,02	99,7	181,38	0,83	155,89	97,13	183,88	0,85
17	640	622	632	631	1,5	262	261	259	452	450	451	451	0,4	138,61	94,51	168,01	0,83	133,38	92,29	162,68	0,82	137,64	89,66	164,51	0,84
18	639	619	629	629	1,5	261	260	260	451	450	452	451	0,3	138,2	93,73	167,4	0,83	132,29	92,07	161,5	0,82	137,1	89,82	164,0	0,84



19	646	626	634	635	1,6	262	260	259	452	449	452	451	0,5	140,5 1	94,32	169,6 6	0,83	134,22	92,31	163,4 6	0,82	138,1 5	89,48	164,9 5	0,84
20	649	629	640	639	1,6	261	260	259	451	450	451	451	0,4	140,4 7	95,32	170,0 2	0,83	134,8	92,78	164,1 7	0,82	139,4	90,45	166,4 4	0,84
21	735	715	724	725	1,4	261	259	258	450	448	450	449	0,6	161,6 9	103,2 9	192,4 5	0,84	155,33	101,3 6	185,9 6	0,84	159,1 5	98,68	187,4 5	0,85
22	671	652	660	661	1,4	261	261	258	451	449	450	450	0,7	145,3 8	97,57	175,4 3	0,83	139,99	96,64	170,5 4	0,82	142,9 5	93,18	171,0 4	0,84
23	641	622	630	631	1,6	262	260	259	452	450	452	451	0,5	139,2 3	93,79	168,4 9	0,83	132,72	92,88	162,3 2	0,82	137,0 2	89,6	164,1 3	0,83
24	655	634	644	644	1,6	261	260	259	451	449	450	450	0,5	141,5	96,63	171,7 1	0,82	135,29	94,35	165,3	0,82	139,7 2	91,05	167,0 8	0,84
25	643	620	633	632	1,8	261	260	259	451	449	451	450	0,4	138,4 7	94,09	168,2 1	0,82	132,17	92,61	161,6 5	0,82	137,3 8	89,86	164,4 2	0,84
26	689	666	678	678	1,7	261	259	258	450	448	450	449	0,5	151,2 5	96,79	179,9 8	0,84	144,5	94,49	173,0 4	0,84	149,1 5	91,57	175,4 5	0,85
27	662	640	655	652	1,8	260	260	258	450	449	450	450	0,5	142,5 6	97,16	172,8 5	0,82	136,81	94,68	166,7 4	0,82	142,1 7	92	169,7 8	0,84
28	664	642	655	654	1,7	262	259	259	451	449	451	450	0,6	143,9 1	96,79	174,2 9	0,83	137,68	94,32	167,3 1	0,82	142,3 5	92,35	170	0,84
29	633	611	624	623	1,8	261	259	259	451	449	451	450	0,5	136,9 7	93,34	165,9 6	0,83	130,54	90,7	159,1 8	0,82	135,9 6	88,19	162,2	0,84
30	641	619	628	629	1,8	262	260	259	452	449	451	451	0,7	138,8 7	94,59	168,5 1	0,82	131,81	92,05	161,4 2	0,82	136,3 7	88,78	163,0 6	0,84
31	715	691	699	702	1,9	261	259	259	451	449	451	450	0,5	156,4 6	102,6 2	187,3 7	0,84	149,38	99,27	179,7	0,83	153,7 7	96,18	181,6 1	0,85
32	649	627	634	637	1,9	261	260	259	451	450	451	451	0,4	139,6 5	96,21	170,1 1	0,82	133,33	94,21	163,8	0,81	137,1 4	90,86	164,7 7	0,83
33	654	631	639	641	2	260	259	259	450	448	450	449	0,4	140,1 4	96,78	171,0 4	0,82	133,77	94,17	163,9 1	0,82	138,2 4	91,1	165,9 2	0,83
34	668	644	652	655	2	260	259	258	449	449	449	449	0,3	142,9 8	98,63	174,1 1	0,82	136,42	95,8	167,3 2	0,82	141,2 7	92,76	169,2 8	0,83
35	646	624	631	634	1,9	261	260	258	451	449	450	450	0,7	138,9 6	96,97	169,5 1	0,82	132,7	93,24	162,7 3	0,82	136,2 7	90,48	163,7 8	0,83
36	693	669	679	680	1,8	263	262	260	454	452	453	453	0,6	152,0 4	100,4 5	182,6 2	0,83	146,12	97,32	176,0 5	0,83	149,6 2	93,65	177,0 7	0,84
37	621	598	605	608	2,1	262	261	260	453	450	452	452	0,5	134,9 1	90,64	163,3	0,83	128,86	88,3	156,4 6	0,82	132,4 9	84,56	157,7 1	0,84
38	643	618	627	629	2,1	259	258	258	448	447	448	448	0,3	137,1	94,47	167,1 6	0,82	130,33	92,57	160,1 5	0,81	134,8 2	88,86	161,8	0,83
39	634	611	620	622	1,9	260	259	258	449	447	449	448	0,3	135,6 2	93,25	165,2 3	0,82	129,75	90,73	158,8	0,82	133,6	87,65	160,3	0,83
40	663	641	648	651	1,9	259	258	257	448	445	447	447	0,5	142,6	96,65	172,5	0,83	136,22	93,71	165,7	0,82	140,0	90,02	166,9	0,84



41	688	664	671	674	2	260	258	258	449	447	449	448	0,5	151,1 2	96,31	179,4	0,84	144,17	93,51	172,1 2	0,84	148,0 1	90,06	173,4 8	0,85
42	639	618	623	627	1,9	260	259	258	449	447	449	448	0,4	137,6 1	94,08	166,7 9	0,83	131,53	91,26	160,4 8	0,82	134,7 5	87,89	161,3 4	0,84
43	639	617	623	626	2	260	259	257	449	447	448	448	0,6	136,2 2	95,06	166,6 4	0,82	130,11	92,62	160,2 7	0,81	133,3 4	89,01	160,7 5	0,83
44	663	640	647	650	2	260	258	257	449	446	448	448	0,6	142,4 8	96,89	172,8 8	0,82	136,09	94,49	166,1 6	0,82	139,4 4	90,37	166,8 6	0,84
45	644	621	626	630	2,1	260	258	257	449	446	449	448	0,6	136,8 1	96,86	167,9 8	0,81	130,25	93,86	161,0 2	0,81	133,4 7	90,37	161,6 2	0,83
46	681	657	665	668	1,9	260	258	257	449	446	448	448	0,6	148,7 5	96,02	177,5 6	0,84	141,87	92,95	170,2 2	0,83	145,8 1	89,65	171,5 4	0,85
47	630	606	613	616	2,1	260	258	258	448	447	448	448	0,3	134,2 1	93,01	163,8 9	0,82	127,72	90,55	156,9 2	0,81	131,9 7	87,53	158,6 6	0,83
48	640	617	624	627	2	258	258	256	447	445	446	446	0,4	136,2 5	93,96	165,8 6	0,82	130,06	91,02	159,3 2	0,82	133,9 6	87,5	160,5 2	0,83
49	645	621	630	632	2	258	257	256	446	444	445	445	0,5	137,8 4	93,83	166,9 5	0,83	131,72	90,34	160,2 5	0,82	135,3 7	87,52	161,5 1	0,84
50	669	645	654	656	2	259	257	256	447	444	446	446	0,5	144,0 5	96,44	173,8 8	0,83	137,38	92,89	166,3 6	0,83	141,5 2	89,89	168,1 3	0,84
51	699	673	682	685	2,1	259	257	257	447	444	447	446	0,5	151,4 8	99,08	181,7 5	0,83	143,98	95,91	173,7 1	0,83	148,4 2	92,51	175,3 4	0,85
52	656	634	641	644	1,9	260	258	256	449	445	447	447	0,6	140,6 5	96,24	170,8 1	0,82	134,42	92,73	163,9 1	0,82	137,7 9	89,64	164,8 1	0,84
53	639	614	623	625	2,1	259	257	256	447	445	447	446	0,5	136,0 9	94,19	165,9 4	0,82	129,51	91	158,7 7	0,82	133,7 9	88,3	160,3 8	0,83
54	639	614	625	626	2	258	257	256	446	445	446	446	0,4	136,9 4	92,42	165,4 8	0,83	130,48	89,12	158,5 1	0,82	135,2 5	85,78	160,5 9	0,84
55	638	613	622	624	2,2	259	258	257	448	446	447	447	0,4	136,9 9	92,4	165,6 6	0,83	130,28	89,37	158,4 6	0,82	134,8 6	85,94	160,3 5	0,84
56	717	691	701	703	2	259	258	257	447	445	447	446	0,4	155,7 1	101,2	186,0 9	0,84	148,86	97,81	178,5 6	0,83	153,1 6	94,89	180,4 1	0,85
57	641	618	626	628	2	259	258	257	448	446	447	447	0,4	137,5 7	93,72	166,5 5	0,83	131,79	90,13	160,1 2	0,82	135,6 8	86,97	161,4 6	0,84
58	642	618	626	629	2	259	257	256	447	445	446	446	0,5	138,0 2	92,74	166,5 7	0,83	131,46	89,4	159,4 3	0,82	135,6 4	86,58	161,1 8	0,84
59	639	614	624	626	2,1	258	257	257	445	444	445	445	0,4	136,8 3	92,1	165,2 6	0,83	130,28	88,98	158,0 9	0,82	135,2 7	86,25	160,4 3	0,84
60	649	625	633	636	2	259	257	257	447	446	448	447	0,5	139,6 2	94,7	168,8 2	0,83	132,73	91,16	161,5 4	0,82	137,1 1	88,47	163,3 6	0,84
61	687	664	674	675	1,8	259	258	257	447	446	446	446	0,4	149,4 8	95,77	178,1 7	0,84	143,63	92,55	171,4 6	0,84	147,9 5	89,85	173,6 2	0,85
62	670	646	656	657	1,9	258	257	257	446	445	447	446	0,2	144,1 7	95,88	173,5 2	0,83	137,87	93,36	166,9 2	0,83	142,3 4	90,43	169,0 7	0,84



63	638	617	623	626	1,9	260	260	258	450	448	449	449	0,5	137,6 3	93,34	166,4 7	0,83	131,94	90,86	160,5 5	0,82	135,3 2	87,4	161,3 4	0,84
64	653	628	637	639	2	260	259	259	449	448	450	449	0,4	140,3 7	95,5	170,3 8	0,82	133,54	93,16	163,2 6	0,82	138,1 1	90,06	165,3 4	0,84
65	641	619	627	629	1,9	259	258	257	448	446	448	447	0,4	137,6 2	93,3	166,8 8	0,82	131,76	90,73	160,3 4	0,82	135,7 3	87,89	162,0 4	0,84
66	675	652	660	662	1,8	258	257	256	445	444	445	445	0,4	144,7 7	96,94	174,6	0,83	138,39	94,5	167,9	0,82	142,6 8	91,15	169,5 7	0,84
67	631	610	613	618	2	259	257	256	447	445	446	446	0,5	134,3 9	92,11	163,4 7	0,82	128,3	90,59	157,5 3	0,81	131,0 3	86,91	157,5 4	0,83
68	664	643	650	652	1,8	258	258	256	446	445	446	446	0,4	142,7 8	95	171,9 9	0,83	137,07	92,94	166,0 2	0,83	140,5 7	89,31	167,1 6	0,84
69	633	612	616	620	2	259	257	256	447	444	447	446	0,5	135,8 1	91,91	164,3	0,83	129,49	89,98	158,0 4	0,82	132,2 5	86,62	158,3 4	0,84
70	643	623	628	631	1,8	258	257	256	447	445	446	446	0,4	137,7 5	92,98	166,6 7	0,83	131,96	90,65	160,8 1	0,82	135,1 7	87,43	161,5 8	0,84
71	685	665	669	673	1,8	258	257	256	446	445	446	446	0,3	147,6 9	97,56	177,3 2	0,83	141,93	95,22	171,6 2	0,83	144,8 7	92,61	172,0 1	0,84
72	637	618	622	626	1,8	258	258	256	446	445	446	446	0,4	136,6 4	92,4	165,0 3	0,83	131,15	90,07	159,5 6	0,82	133,9	86,4	159,9 9	0,84
73	668	647	653	656	1,8	258	257	256	446	445	446	446	0,4	144,4 7	94,86	173,1	0,83	138,44	91,98	166,8 8	0,83	141,8 8	89,25	167,9 9	0,84
74	656	633	640	643	2	259	257	256	447	445	447	446	0,5	140,5	94,8	170,3 1	0,82	133,87	93,17	163,4	0,82	137,6 2	89,85	164,6 7	0,84
75	637	616	621	625	1,9	258	257	257	446	445	446	446	0,3	135,6 5	92,29	164,5	0,82	130,22	90,54	159,0 3	0,82	133,5 5	87,24	159,7 9	0,84
76	665	643	648	652	2	258	257	256	445	444	446	445	0,4	143,8 5	93,67	172,1 4	0,84	136,9	92,14	165,4 5	0,83	140,9 1	88,19	166,5 1	0,85
77	632	610	615	619	2	259	258	257	447	445	447	446	0,5	135,5 7	91,89	164,3 5	0,82	128,95	89,66	157,5 7	0,82	132,4 8	86,11	158,4 6	0,84
78	640	618	623	627	2	258	257	256	446	444	446	445	0,5	137,9 7	91,44	165,9 5	0,83	131,26	88,79	159,0 1	0,83	134,8 5	86	160,2 9	0,84
79	659	640	644	648	1,7	259	258	257	447	446	447	447	0,3	141,4 1	96,04	171,0 8	0,83	135,8	93,42	165,3 3	0,82	138,9 2	90,35	166,0 7	0,84
80	667	647	650	655	1,9	259	257	256	447	444	446	446	0,5	142,6 3	97,55	173,1 5	0,82	136,27	94,99	166,7 9	0,82	139,4 4	91,49	167,1 9	0,83
81	652	631	636	640	1,9	259	257	257	447	445	447	446	0,5	140,5 5	93,93	169,5 8	0,83	134,08	91,69	163,0 4	0,82	137,1 9	88,51	163,7	0,84
82	641	620	628	630	1,8	259	258	257	447	446	447	447	0,5	138,1 2	92,22	166,6 8	0,83	132,28	90	160,3 5	0,82	136,1 6	86,5	161,8 2	0,84
83	639	618	623	627	2	259	258	257	447	445	448	447	0,5	137,6 1	92,94	166,2 1	0,83	130,98	90,29	159,6 7	0,82	134,2 7	87,43	160,5 3	0,84
84	636	614	619	623	2,1	259	258	257	447	445	447	446	0,5	136,3 3	92,42	165,1 6	0,83	130,02	89,97	158,6 9	0,82	133,3 6	87,23	159,3 3	0,84
85	643	622	627	631	1,9	258	258	256	447	445	446	446	0,4	137,5	93,63	166,6	0,83	131,54	91,76	160,8	0,82	134,4	88,14	160,9	0,84



86	686	666	672	675	1,7	258	257	256	447	445	445	446	0,5	4 147,9	8 98,61	8 177,9	0,83	142,32	95,57	4 171,9	0,83	6 145,2	6 92,37	6 172,4	0,84
87	642	622	627	630	1,8	259	257	256	447	445	446	446	0,4	1 137,2	8 93,78	1 166,6	0,82	131,51	91,66	9 160,6	0,82	134,4	88,45	9 161,2	0,83
88	643	621	627	630	2	259	257	257	447	445	447	446	0,4	8 137,3	2 93,58	7 166,9	0,82	131,14	92,03	9 160,4	0,82	134,7	88,98	9 161,5	0,83
89	646	625	630	634	1,9	258	257	256	446	445	446	446	0,4	2 137,6	4 94,14	7 167,3	0,82	131,28	92,51	6 161,2	0,81	134,7	88,81	5 161,7	0,83
90	655	634	639	643	1,9	258	256	255	445	443	445	444	0,5	4 139,3	5 95,57	3 169,3	0,82	133,26	93,1	7 163,1	0,82	9 136,2	89,73	4 163,8	0,83
91	677	655	662	665	1,9	258	257	256	446	444	445	445	0,4	5 144,7	8 97,23	7 175,1	0,83	138,69	95,41	6 168,7	0,82	5 142,3	92,03	7 169,9	0,84
92	670	649	653	657	1,9	257	257	255	445	443	444	444	0,5	2 143,3	2 96,41	9 173,1	0,83	137,28	94,67	6 167,1	0,82	5 140,1	90,86	1 167,3	0,84
93	650	628	632	637	2	258	257	256	446	444	445	445	0,5	9 139,4	8 93,6	8 168,2	0,83	132,87	91,19	8 161,7	0,82	6 136,1	88,04	6 162,1	0,84
94	652	632	637	640	1,8	258	257	256	446	445	445	445	0,4	2 140,0	2 93,29	9 168,6	0,83	134,21	92,15	2 163,1	0,82	6 137,2	88,26	6 163,5	0,84
95	666	648	650	655	1,7	257	256	255	444	443	444	444	0,4	1 141,9	1 96,16	1 171,8	0,83	136,38	94,7	3 166,6	0,82	8 138,8	90,97	7 166,5	0,83
96	665	646	650	654	1,7	257	257	255	445	444	444	444	0,5	7 142,2	7 95,59	7 171,6	0,83	136,79	93,82	9 166,0	0,82	2 139,7	89,78	9 166,5	0,84
97	690	669	674	678	1,8	257	256	255	444	443	444	444	0,5	3 146,8	3 99,31	3 177,8	0,83	140,83	98,22	6 172,0	0,82	8 143,9	94,53	1 172,5	0,83
98	689	670	675	678	1,6	258	256	255	445	442	444	444	0,7	7 147,6	9 99,02	9 178,0	0,83	142,06	96,29	1 172,2	0,82	1 144,5	93,63	8 172,4	0,84
99	658	638	644	647	1,7	258	257	255	446	442	444	444	0,7	4 140,4	5 95,51	5 170,1	0,83	134,67	93,52	3 164,3	0,82	7 136,9	90,09	7 164,5	0,83
100	664	642	650	652	1,8	257	256	255	444	443	444	444	0,4	3 140,8	3 97,18	8 171,2	0,82	134,92	94,78	4 165,1	0,82	4 138,7	91,65	3 166,5	0,83
101	660	639	643	647	1,9	257	256	255	444	442	444	443	0,6	4 141,0	4 95,02	4 170,4	0,83	134,71	92,49	164	0,82	2 137,6	89,68	7 164,4	0,84
102	635	613	618	622	2,1	258	256	255	444	443	445	444	0,5	7 136,0	7 90,36	4 163,9	0,83	129,41	88,45	4 157,3	0,82	1 133,1	85,59	8 158,3	0,84
103	664	642	649	652	1,9	256	255	255	443	442	442	442	0,4	4 141,9	4 93,7	2 170,7	0,83	136,08	91,74	2 164,5	0,83	9 139,8	88,75	1 165,8	0,84
104	684	663	670	672	1,7	255	254	254	441	440	440	440	0,3	4 145,7	4 95,99	4 175,0	0,83	140,38	94	2 169,2	0,83	4 143,9	90,42	2 170,4	0,84
105	653	634	639	642	1,7	258	257	256	446	444	445	445	0,4	9 138,9	9 94,97	2 168,6	0,82	133,84	92,34	4 163,2	0,82	4 136,8	89,76	4 164,0	0,83
106	637	616	626	626	1,7	258	257	257	446	445	446	446	0,3	7 136,8	7 91,88	2 165,2	0,83	130,62	90,28	7 159,1	0,82	2 135,3	87,33	1 161,3	0,84
107	634	613	622	623	1,8	258	257	256	446	444	446	445	0,5	8 136,1	8 91,33	1 164,3	0,83	129,47	89,13	3 157,8	0,82	3 134,4	86,27	3 160	0,84



108	632	612	621	622	1,6	258	257	256	447	444	445	445	0,5	135,5 5	91,46	163,8 2	0,83	129,71	89,34	158,0 3	0,82	133,7 2	86,48	159,4 3	0,84
109	660	641	652	651	1,5	258	257	256	446	444	444	445	0,5	141,7 7	94,17	170,6 8	0,83	136,61	92	165,2 6	0,83	140,7 9	89,42	167,1 4	0,84
110	666	645	656	656	1,6	257	256	254	444	441	443	443	0,5	142,5 7	95,03	171,7	0,83	136,6	92,67	165,6	0,82	140,5 8	90,12	167,4 3	0,84
111	644	623	634	634	1,7	258	256	255	445	442	445	444	0,5	138,2 2	92,43	166,6 9	0,83	131,79	89,82	159,9 8	0,82	136,4 1	86,93	162,3 2	0,84
112	635	614	624	624	1,7	258	256	255	445	443	445	444	0,6	135,3	92,6	164,1	0,82	129,15	90,11	157,9 4	0,82	133,3 3	87,78	159,7 9	0,83
113	655	635	646	645	1,6	258	257	255	445	443	444	444	0,6	140,4 5	94,03	169,2 7	0,83	134,81	91,56	163,5 7	0,82	138,9 9	88,93	165,3 1	0,84
114	640	618	630	629	1,7	258	256	256	445	443	445	444	0,6	137,4 9	91,59	165,6 6	0,83	130,76	89,13	158,8 2	0,82	136	86,64	161,5	0,84
115	685	665	675	675	1,5	257	256	254	444	442	444	443	0,6	146,6 7	97,96	176,8 3	0,83	140,57	95,9	170,6 9	0,82	144,4 9	93,28	172,4 1	0,84
116	679	659	671	670	1,6	257	256	255	444	443	444	444	0,5	145,8 2	96,28	175,0 5	0,83	140,13	93,94	169,2	0,83	145,0 1	91,11	171,7 4	0,84
117	637	616	627	627	1,7	258	257	256	445	444	445	445	0,5	136,1 8	92,29	164,7 3	0,83	130,35	89,59	158,6 7	0,82	135,1	87,19	161,0 3	0,84
118	635	614	625	625	1,6	258	257	256	446	444	445	445	0,4	135,8 3	91,79	164,2 8	0,83	129,93	89,33	158,2 1	0,82	134,6 4	86,58	160,4 4	0,84
119	650	631	641	641	1,5	258	257	256	446	443	445	445	0,6	138,9 4	94,69	168,4 6	0,82	132,95	91,63	162,2 3	0,82	137,4	89,76	164,3 3	0,84
120	645	625	637	636	1,7	258	257	256	446	445	446	446	0,4	137,5 2	94,57	167,3 8	0,82	131,66	92,05	161,2 2	0,82	136,7 1	90	163,9 2	0,83
121	682	662	674	673	1,5	259	257	256	447	445	446	446	0,5	146,7 1	98,24	177,0 3	0,83	140,91	96,05	170,8 9	0,82	145,7	92,97	173,3 7	0,84
122	668	647	659	658	1,7	259	259	257	448	447	446	447	0,4	143	97,44	173,6	0,82	137,44	95,55	167,8 8	0,82	142,0 8	92,1	169,7 7	0,84
123	646	624	639	636	1,8	260	259	257	449	448	448	448	0,5	138,8 6	94,63	168,3 9	0,82	133,42	92,17	162,3	0,82	138,4 3	88,75	164,8 8	0,84
124	648	627	633	636	1,8	260	258	257	449	446	448	448	0,5	139,1 6	94,71	168,8 2	0,82	133,35	92,14	162,5 5	0,82	136,3 3	89,09	163,2 7	0,83
125	646	625	631	634	1,8	259	259	257	448	446	448	447	0,3	137,7 6	95,42	167,9 4	0,82	132,23	93,55	162,2 9	0,81	135,0 4	90,44	162,9	0,83
126	646	623	631	633	2	260	259	258	449	448	449	449	0,5	138,1 7	95,99	168,7	0,82	131,6	93,35	161,7 3	0,81	135,7 5	90,24	163,2 6	0,83
127	688	666	675	676	1,6	259	259	258	449	447	448	448	0,3	147,6 3	100,7	178,9 5	0,82	142,25	97,53	172,8 6	0,82	146,0 7	95,01	174,5 4	0,84
128	678	657	663	666	1,8	260	259	257	449	447	448	448	0,4	145,4	99,22	176,5 3	0,82	139,44	96,98	170,4	0,82	142,6 6	94,24	171,0 8	0,83
129	649	629	635	638	1,8	260	259	258	450	447	449	449	0,5	139,7 5	95,51	169,4 7	0,82	134,15	92,7	163,5 4	0,82	137,1 6	89,83	164,0 3	0,84
130	640	619	625	628	1,9	260	259	258	449	448	450	449	0,4	137,1	95,04	167,1	0,82	131,12	92,35	160,8	0,82	134,4	89,95	161,8	0,83



131	640	621	632	631	1,5	260	259	258	450	448	449	449	0,5	136,7 6	95,52	167,1 2	0,82	131,89	92,86	161,7 4	0,82	135,9 8	90,24	163,6 9	0,83
132	668	649	660	659	1,5	260	259	258	450	447	448	448	0,4	143,6 7	97,95	174,2 2	0,82	138,49	95,2	168,5 2	0,82	142,6 7	93,14	170,6	0,84
133	688	666	680	678	1,7	259	258	257	448	447	448	448	0,4	147,6 6	100,1 5	178,8 9	0,83	141,83	97,88	172,7 5	0,82	147,3	95,01	175,8	0,84
134	641	621	632	631	1,6	261	260	258	451	449	450	450	0,5	138,1 5	93,98	167,5 9	0,82	132,57	92,08	161,9 4	0,82	136,6 9	89,28	163,5 3	0,84
135	644	623	632	633	1,7	261	259	259	450	448	451	450	0,5	138,5 7	95,5	168,7 9	0,82	131,71	93,47	161,9 9	0,81	136,3	91	164,1 8	0,83
136	643	623	634	633	1,5	261	260	258	451	448	449	449	0,6	137,5 5	95,27	168	0,82	131,97	94,26	162,3 8	0,81	135,9 3	90,73	163,9 5	0,83
137	672	652	663	662	1,5	260	259	259	449	448	449	449	0,4	145,5 7	97,27	175,4 9	0,83	139,38	95,91	169,3 9	0,82	144,3 9	92,96	172	0,84
138	667	646	656	656	1,6	261	259	259	450	449	451	450	0,4	144,4 1	98,01	174,5 9	0,83	137,85	95,8	168,3 1	0,82	142,5	92,71	170,4 2	0,84
139	639	619	629	629	1,6	260	259	258	450	448	450	449	0,4	138,0 7	93,51	167,1 3	0,83	131,99	91,67	160,9 1	0,82	136,4 1	88,69	163,1 4	0,84
140	657	637	648	647	1,6	260	259	258	449	448	449	449	0,4	140,6	97,39	171,3	0,82	134,8	95,34	165,4 9	0,81	139,4 6	92,58	167,7 3	0,83
141	641	620	633	631	1,8	259	258	258	447	447	448	447	0,3	136,9 1	94,56	166,6 9	0,82	130,8	92,2	160,5	0,81	136,2 2	89,6	163,5 1	0,83
142	640	620	629	630	1,6	260	259	258	450	447	449	449	0,5	137,6 5	94,66	167,1 6	0,82	131,33	92,23	161	0,82	135,7 6	89,05	162,8 5	0,83
143	668	647	656	657	1,7	259	259	258	449	447	449	448	0,3	144,0 2	97,26	173,9 1	0,83	137,84	95,19	167,9	0,82	142,1 8	92,12	169,7 4	0,84
144	651	629	639	640	1,7	260	258	257	449	446	449	448	0,5	140,3 3	95,05	169,9 3	0,83	133,41	92,6	163,1 1	0,82	138,0 9	89,93	165,0 6	0,84
145	653	635	645	644	1,4	259	258	257	448	446	447	447	0,4	139,8 9	95,51	169,6 3	0,82	134,79	93,38	164,4	0,82	138,9 4	90,63	166,2 9	0,84
146	651	629	641	640	1,8	259	258	257	448	447	448	448	0,4	139,2 9	95,37	169,3 4	0,82	133,06	93,19	163,0 3	0,82	138,3 5	90,15	165,5 4	0,84
147	647	628	638	638	1,5	259	258	257	448	445	448	447	0,4	139,0 2	94,41	168,3 2	0,83	133,49	91,99	162,5 5	0,82	137,5 6	89,88	164,6 1	0,84
148	673	654	664	664	1,5	259	258	257	448	445	448	447	0,4	145,7 5	96,76	175,2 2	0,83	139,63	94,55	169,0 4	0,83	143,7 3	92,09	171,1	0,84
149	672	651	661	661	1,6	260	258	257	448	446	448	447	0,6	145,1 2	97,51	175,3	0,83	138,57	95,46	168,5 7	0,82	142,9 7	92,73	170,5 5	0,84
150	644	623	633	633	1,6	260	258	257	449	446	448	448	0,4	137,7 2	95,2	167,6 7	0,82	131,61	93	161,6 3	0,81	135,9 5	90,14	163,4 2	0,83
151	646	625	632	634	1,7	259	258	257	448	446	447	447	0,4	137,7 2	94,66	167,6 8	0,82	132,28	93,01	162,0 1	0,82	135,7 7	89,6	162,9 4	0,83
152	647	626	632	635	1,8	259	258	258	448	447	448	448	0,3	138,5 4	94,43	168,1 9	0,82	132,73	92,7	162,2 5	0,82	136,3 1	89,23	163,2 9	0,83



153	648	628	633	636	1,9	260	258	258	449	446	448	448	0,6	140,09	94,56	169,46	0,83	133,64	91,29	162,49	0,82	136,78	88,57	163,35	0,84
154	670	648	654	657	1,9	259	258	257	447	446	447	447	0,3	143,55	97,54	174,02	0,82	137,26	95,52	167,69	0,82	140,75	92,24	168,62	0,83
155	669	648	654	657	1,7	259	258	257	448	446	447	447	0,5	144,76	95,6	173,83	0,83	138,8	93,61	167,73	0,83	141,88	90,21	168,52	0,84
156	640	619	625	628	1,9	261	259	258	449	447	449	448	0,6	138,46	92,51	167,16	0,83	131,97	90,24	160,44	0,82	135,54	87,71	161,66	0,84
157	638	617	622	626	1,9	261	260	260	452	450	452	451	0,3	137,86	93,63	167,16	0,82	132,16	91,22	161,28	0,82	135,45	88,67	162,25	0,83
158	641	620	626	629	1,8	261	260	259	451	449	450	450	0,3	138,34	93,64	167,47	0,83	132,79	91,51	161,58	0,82	136,27	88,2	162,64	0,84
159	636	615	621	624	1,8	261	260	259	452	450	450	451	0,4	138,13	92,88	166,65	0,83	132,65	90,04	160,66	0,83	135,86	86,79	161,54	0,84
160	674	652	660	662	1,9	261	260	259	451	450	451	451	0,4	146,43	98,01	176,68	0,83	140,27	95,18	170,03	0,82	144,35	92,4	171,63	0,84
161	637	614	621	624	2	262	260	259	452	450	452	451	0,6	137,26	94,53	167,31	0,82	131,02	92,27	160,39	0,82	135,1	88,35	161,9	0,83
162	639	617	623	626	2,1	261	260	259	451	449	451	450	0,5	138,41	93,64	167,75	0,83	131,83	91,41	160,72	0,82	135,63	88,06	161,96	0,84
163	639	616	624	626	1,9	261	261	260	452	451	452	452	0,4	137,33	95,01	167,53	0,82	131,48	92,56	161,27	0,82	135,49	89,49	162,59	0,83
164	644	622	629	632	1,9	262	261	260	454	452	453	453	0,4	139,72	95,41	169,41	0,82	133,8	92,67	163,12	0,82	137,3	89,19	164,2	0,84
165	669	645	653	656	2	261	260	259	452	449	451	451	0,5	145,06	97,56	175,45	0,83	138,37	95,23	168,34	0,82	142,33	91,59	169,71	0,84
166	655	634	641	643	1,8	261	260	259	451	450	451	451	0,4	141,5	97,12	171,7	0,82	135,56	93,73	165,4	0,82	139,34	90,87	166,78	0,84
167	659	637	643	646	2	261	259	258	451	448	450	450	0,5	142,54	96,17	172,47	0,83	136,16	93,74	165,8	0,82	139,53	90,29	166,53	0,84
168	647	625	631	634	2	261	260	259	451	449	450	450	0,5	138,54	97,05	169,74	0,82	131,88	94,98	162,89	0,81	135,8	91,25	163,91	0,83
169	647	624	632	634	1,9	261	260	259	451	449	450	450	0,4	138,61	95,78	168,95	0,82	132,74	93,56	162,75	0,82	136,47	89,88	163,94	0,83
170	675	651	659	662	2	260	259	259	450	449	450	450	0,4	145,52	98,91	176,44	0,82	138,63	96,59	169,36	0,82	143,07	92,96	170,98	0,84
171	662	640	647	650	1,9	261	260	258	451	449	450	450	0,5	143,22	97,38	173,51	0,83	136,83	94,67	166,73	0,82	140,56	90,79	167,8	0,84
172	635	613	619	622	2	260	259	258	449	447	448	448	0,4	136,17	92,92	165,39	0,82	130,12	90,3	159,01	0,82	133,51	87	159,95	0,83
173	645	623	630	633	1,9	260	258	257	449	446	448	448	0,6	138,7	94,94	168,22	0,82	132,24	91,91	161,46	0,82	135,51	88,78	162,4	0,83
174	640	618	625	628	1,9	259	259	257	449	447	448	448	0,4	137,57	93,58	166,64	0,83	131,71	91,27	160,54	0,82	134,8	87,89	161,23	0,84
175	645	621	629	632	2	260	258	257	449	447	448	448	0,5	138,8	93,57	168,1	0,83	132,5	90,97	161,2	0,82	136,0	87,91	162,2	0,84



176	664	641	648	651	2	259	258	257	448	446	448	447	0,5	142,9 8	96,08	172,7 8	0,83	136,52	93,32	165,9 8	0,82	140,1 2	90,59	167,1 8	0,84
177	658	634	641	644	2,1	259	258	257	447	446	447	447	0,3	140,8 7	95,6	170,5 9	0,83	134,49	93,53	164,1 1	0,82	138,1 9	89,99	165,2 3	0,84
178	645	622	629	632	2	259	258	257	448	446	448	447	0,5	138,2 6	94,3	167,7 5	0,82	132,05	91,99	161,4 2	0,82	135,4 5	88,65	162,2 1	0,84
179	637	616	622	625	1,9	260	259	257	449	447	448	448	0,5	137,1 7	92,82	166,1 3	0,83	130,92	90,73	159,8 4	0,82	134,4 6	87,19	160,6 6	0,84
180	641	618	623	627	2,1	260	258	258	449	447	449	448	0,4	137,7 8	93,52	166,8 8	0,83	131,27	91,11	160,2 8	0,82	134,6 1	87,96	161,1 8	0,84
181	667	645	652	655	1,8	259	258	257	448	447	448	448	0,5	143,9 3	96,53	173,6 9	0,83	137,77	94,53	167,3 5	0,82	141,1 2	90,59	168,1 3	0,84
182	669	648	653	657	1,9	259	259	257	449	446	448	448	0,5	144,4 3	96,74	174,2 4	0,83	138,36	95,23	168,3 1	0,82	140,9	91,19	168,3	0,84
183	642	619	624	628	2,1	260	258	258	449	447	449	448	0,6	137,5	94,6	167,4 4	0,82	130,86	92,43	160,6 8	0,81	134,4 2	89	161,3 2	0,83
184	636	614	621	624	2	260	259	258	449	447	448	448	0,4	136,6 5	92,67	165,8 7	0,82	130,48	90,66	159,3 4	0,82	134,3 7	86,85	160,4 1	0,84
185	643	623	628	631	1,9	261	259	258	450	448	449	449	0,6	139,0 9	93,95	168,1 5	0,83	133,19	91,17	162,1 3	0,82	136,0 3	88,14	162,3 6	0,84
186	644	621	629	631	2	260	259	258	449	448	449	449	0,4	139,0 3	93,66	168,0 2	0,83	132,91	91,02	161,5 4	0,82	136,5 3	87,49	162,7 2	0,84
187	687	664	672	674	1,8	260	259	258	449	448	449	449	0,3	147,8	99,47	178,8 6	0,83	141,67	97,47	172,4 4	0,82	145,7 3	94,46	173,8 9	0,84
188	672	651	656	660	1,8	260	259	258	449	448	449	449	0,4	144,5	98,93	175,4 5	0,82	138,26	96,92	169,0 3	0,82	141,8 3	93,19	169,9 9	0,83
189	636	615	620	624	2	261	259	258	451	448	450	450	0,6	136,9 7	93,68	166,5 1	0,82	130,73	91,29	160,1 1	0,82	133,8 5	88,06	160,5 4	0,83
190	641	620	626	629	1,8	261	260	258	451	449	449	450	0,6	138,4 7	93,61	167,6 5	0,83	132,58	91,27	161,4 1	0,82	136,1	87,37	162,1 5	0,84
191	637	615	621	624	1,9	260	259	258	450	448	450	449	0,4	137,1 1	93,59	166,3 2	0,82	131,41	90,6	160,1 9	0,82	134,5 6	87,97	161,0 7	0,84
192	632	611	617	620	1,9	260	259	258	449	448	449	449	0,4	135,8 9	92,57	164,7 3	0,82	130,08	90,27	158,8 4	0,82	133,3 4	86,89	159,6 6	0,84
193	669	648	655	657	1,8	259	259	258	449	448	449	449	0,3	143,3 8	97,86	174,1 7	0,82	137,75	96,12	168,4 8	0,82	141,5 8	92,79	169,5 8	0,83
194	669	648	655	657	1,7	260	259	258	450	448	449	449	0,4	144,2 8	97,63	174,5 3	0,83	138,41	95,36	168,5 9	0,82	142,0 3	92,35	169,6 9	0,84
195	638	618	622	626	1,9	260	259	258	449	447	449	448	0,5	137,6 3	93,21	166,6 1	0,83	131,31	90,96	160,3 9	0,82	134,3 9	87,81	160,9 3	0,84
196	637	615	622	625	2	260	260	259	450	449	450	450	0,3	137,1 5	92,93	166,4	0,82	131,26	90,86	160,1 8	0,82	135,2	87,65	161,4 1	0,84
197	642	622	627	630	1,8	261	260	258	451	448	449	449	0,6	138,6 7	94,09	167,9	0,83	133,28	91,34	161,9 4	0,82	135,9 4	87,63	162,3 2	0,84



198	641	619	626	629	1,9	260	260	259	450	449	450	450	0,2	137,1	94,75	167,1	0,82	131,62	92,35	161,4	0,82	135,3	89,29	162,5	0,83	
														6		3						4		5		