



*Ministerio de Educación Superior*  
*INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO*  
*Dr. Antonio Núñez Jiménez.*  
*Facultad Metalurgia y Electromecánica*  
*Moa – Holguín*

# *TRABAJO DE DIPLOMA*

*COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA EN EL HOSPITAL  
"GUILLERMO LUIS FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ BAQUERO"*

*Diplomante: Yonnis Breff Álvarez.*

*Tutores: MSr.C. Iliana Gonzáles Palau.  
Ing. José Ramón Miranda López.*

*Junio 21- 6 - 09*  
*Año 50 del triunfo de la revolución.*



*Ministerio de Educación Superior*  
*INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO*  
*Dr. Antonio Núñez Jiménez.*  
*Facultad Metalurgia y Electromecánica*  
*Moa – Holguín*

**COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA EN EL HOSPITAL  
“GUILLERMO LUIS FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ BAQUERO”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

*Diplomante: Yonnis Breff Álvarez.*

*Tutores: MSr.C. Iliana Gonzáles Palau.*  
*Ing. José Ramón Miranda López.*

*Junio 21 - 6 - 09*  
*Año 50 del triunfo de la revolución.*

## ***DECLARACION DE AUTORIDAD.***

---

Yo:

Diplomante: Yonnis Breff Álvarez.

Tutor: MSr.C. Iliana Gonzáles Palau.

Autores del Trabajo de Diploma:

- Compensación de la energía reactiva en el hospital “Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero”.

Certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime necesaria.

---

**Diplomante.**  
**Yonnis Breff Álvarez.**

---

**Tutor.**  
**MSr.C. Iliana González Palau.**

## *Dedicatoria:*

*Dedico este trabajo a mis padres Jorge y Alina, a mi hermano Pedro, a mis abuelos, aunque algunos de ellos ya no estén presentes y demás familiares, que con su esfuerzo y ejemplo han contribuido a mi educación integral.*

*A mi esposa Emma y mis dos hijas las que quiero mucho; las que siempre me dan fuerzas para seguir adelante.*

*A mis amigos Orlando, Karell, Manolo y demás compañeros de aula que me apoyaron en el transcurso de la carrera.*

*A la Revolución y a nuestros héroes que hicieron posible una patria libre para que esta generación pueda formarse como profesionales.*

## *Pensamiento:*



*“La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos”.*

*Albert Einstein*

## *Agradecimientos*

*Agradecemos a los que de una forma u otra han colaborado en la realización de este trabajo. A los profesores del departamento de eléctrica que con su entrega diaria me prepararon poniendo en si toda la voluntad del mundo.*

*A los trabajadores del taller de mantenimiento del hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero, que de una forma u otra contribuyeron en el resultado exitoso del trabajo.*

*Queremos hacer un especial reconocimiento a quienes me brindaron su ayuda la cual consideramos decisiva, entre ellos a la compañera, MSr.C Iliana Gonzáles Palau, al Ing. José Miranda y al Ing. Reineris Montero.*

*A todos, muchas GRACIAS.*

## INDICE

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
Situación Problemática.....	3
Hipótesis .....	3
Objetivo General. ....	3
Objetivos Específicos .....	3
CAPÍTULO I .....	4
Marco teórico de la investigación. ....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Trabajos precedentes.....	5
1.3 Revisión bibliográfica. ....	6
1.4.1 Generalidades del sistema de distribución de energía eléctrica del hospital.....	9
1.4.2 Caracterización e información de los circuitos principales y ramales.....	11
1.5- Gráficos de cargas eléctricas.....	12
1.6- Análisis y representaciones gráficas del comportamiento en años anteriores del consumo y el factor de potencia en la entidad. ....	16
1.7 Materiales y equipos utilizados para las mediciones.....	18
1.8 Obtención del flujo de cargas.....	20
1.8.1 Metodología empleada para el cálculo del flujo de cargas.....	21
1.8.2 Modelos de los elementos del sistema.....	21
1.8.3 Las tareas preliminares que se realizan antes de calcular un flujo de cargas son: .....	22
1.8.4 Flujo de carga a frecuencia fundamental.....	22
1.8.5 Implementación informática del cálculo de flujo a frecuencia fundamental. ....	23
1.9 Caracterización preliminar de la investigación. ....	24
1.9.1 Etapas en el desarrollo de la investigación. ....	24
Diagrama monolinial.....	25
Conclusiones.....	26
CAPITULO II.....	27
Compensación de la Potencia Reactiva.....	27
2.1- Introducción.....	27
2.2 La potencia o energía reactiva circulando por las redes de distribución y por nuestras instalaciones supone importantes efectos negativos, los cuales resumimos: .....	28
2.3 Los grupos de cargas consumidoras de energía reactiva inductiva más comunes en nuestras instalaciones serían: .....	29
2.4 ¿Que es el factor de potencia de una instalación?.....	30
2.5 Causas que provocan un bajo factor de potencia en el circuito de distribución de una entidad.....	31
2.6 El hecho de que exista un bajo factor de potencia en su entidad produce los siguientes inconvenientes: .....	32
2.7 Disposiciones Reglamentarias con respecto a la Corrección de Energía Reactiva. Generalidades.....	33
2.7.1 El recargo de reactiva.....	33
2.8 Reducción de la intensidad eficaz.....	34
2.8.1 Reducción de la sección de los conductores.....	35
2.8.2 Reducción de las pérdidas por efecto Joule.....	36

2.8.3 Reducción de las caídas de tensión .....	36
2.9.1 Método general .....	37
2.9.2 Método simplificado.....	37
2.9.3 Cálculo por tabla .....	37
2.10 Tipos de sistemas a utilizar para la compensación. ....	38
2.11 Compensación de Energía Reactiva Mediante el uso de Condensadores.....	39
2.12 Cómo determinar la cantidad de condensadores necesarios.....	40
2.13 Compensación automática de instalaciones. ....	41
2.13.1- Esquema de principio de una batería automática. ....	41
2.13.2- Donde instalar los bancos de condensadores.....	43
2.14 Existen diferentes formas de compensación. ....	45
2.14.1 Compensación global. ....	45
2.14.3 Compensación individual.....	46
2.17 Selección del método de optimización para la compensación de reactivo.....	47
2.17.1 Método de integración de variables.....	48
2.17.2 Búsqueda Aleatoria Condicionada (BAC) propuesto para la optimización. ....	51
Conclusiones.....	52
CAPÍTULO III. ....	53
<b>3.1. Introducción.....</b>	<b>53</b>
3.2 Compensación de la potencia reactiva con el empleo de técnicas de optimización multiobjetivo.....	57
3.3 Valoración económica. ....	62
3.3.1 Con la inclusión en el sistema eléctrico del Banco de Condensadores en el Hospital” Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero” se obtiene:.....	64
3.3.2 Propuesta de un nuevo transformador para la subestación principal.....	65
Conclusiones.....	68
Conclusiones generales. ....	69
Recomendaciones.....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	71
ANEXOS. ....	I

## *RESUMEN*

El presente trabajo constituye un estudio del sistema de suministro eléctrico del Hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero, que tiene como objetivo determinar el comportamiento característico del bajo factor de potencia del sistema de distribución de la energía, determinando las causas que lo provocan y su influencia. Teniendo en cuenta el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas en la entidad para el desarrollo eficiente del trabajo. Apoyado en la herramienta informática (DYCSE) permitiendo la obtención de los resultados de forma rápida y eficiente, jugando un papel importante en la utilización del método de integración de variable para la compensación. Obteniendo así resultados satisfactorios para la solución del problema objeto de estudio, el cual concluye con una valoración económica sobre el impacto de los principales resultados obtenidos, elaboración de conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **Summary:**

The present work constitutes a study of the system of electric supply of the Hospital Guillermo Luis Fernandez Hernandez Baquero that has as objective to determine the characteristic behavior of the first floor factor of power of the system of distribution of the energy, determining the causes that provoke it and its influence. Keeping in mind the behavior of the main electric magnitudes in the entity for the efficient development of the work. Supported in the computer tool (DYCSE) allowing the obtaining of the results in a quick and efficient way, playing an important paper in the use of the method of variable integration for the compensation. Obtaining this way satisfactory result for the solution of the problem study object, which concludes with an economic valuation on the impact of the main obtained results, elaboration of conclusions and recommendations of the investigation.

## *INTRODUCCIÓN*

El Hospital “Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero” es una instalación que cuenta con mas de 21 años de explotación, este durante un gran periodo de tiempo ha sido penalizado por el bajo factor de potencia en su sistema de distribución de la energía, por lo que se necesita realizar un estudio que permita determinar el comportamiento del sistema, una vez que ha sufrido un deterioro paulatino y además se han incrementado las cargas (nuevos elevadores, computadoras, equipos de laboratorio, equipos de climatización, etc.).

En la actualidad se desconoce el comportamiento real de las mismas a las que se les realizaran los estudios pertinentes para conocer su estado actual y de que forma influyen en el bajo factor de potencia, logrando así eliminar todas las causas negativas que lo determinan, permitiendo una adecuada solución al problema y una gran eficiencia en el sistema, eliminando con esta las penalizaciones efectuadas por la OBE a la entidad.

### ***Situación Problemática.***

El Hospital “Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero” es una entidad que ha venido enfrentando en los últimos años las constantes penalizaciones realizadas por la OBE motivado por el bajo factor de potencia en el sistema de distribución de energía. Existiendo variadas causas internas que influyen directamente en esta magnitud eléctrica. Por lo que surge la necesidad de realizar un estudio detallado sobre las causas que provocan este bajo factor y la realización de un trabajo para la solución del problema.

### ***Hipótesis***

Con la realización de un estudio minucioso de las causas que provocan el bajo factor de potencia en el Hospital “Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero” se lograría un aumento de su capacidad así como la disminución de las pérdidas de energía y las caídas de tensión en el sistema. Eliminando así el deterioro del rendimiento del sistema y las penalizaciones realizadas a la entidad por la OBE.

### ***Objetivo General.***

Determinar el comportamiento característico del bajo factor de potencia del sistema de distribución de energía del Hospital “Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero” con el fin de determinar las causas que lo provocan y su influencia. Teniendo en cuenta el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas en la entidad.

### ***Objetivos Específicos***

- Estudio completo de las cargas de la entidad para conocer su comportamiento real.
- Determinación del comportamiento de las principales magnitudes eléctricas (tensión, corriente, potencia, energía, factor de potencia) en los circuitos principales.
- Actualización del monolineal de la entidad.
- Lograr con la mejora del factor de potencia que la entidad sea bonificada por la OBE.
- Lograr estabilidad en el sistema de distribución de la entidad.
- Propuesta de un banco de condensadores en función del estudio realizado.

# CAPÍTULO I

## Marco teórico de la investigación.

### 1.1 Introducción.

La red eléctrica es un complejo conjunto de fuentes, gran número de distintas cargas conectadas, corrientes de muy diversas formas que circulan a distintas frecuencias por las líneas, distintas potencias, caídas de tensión, etc.... Los grandes avances tecnológicos de las últimas décadas han supuesto un giro importante en la potencia que consumen los usuarios de la energía eléctrica, tanto en su cantidad como en su calidad, debido básicamente al propio carácter de las cargas que consumen dicha energía.

Hoy en día se lucha por el adecuado aprovechamiento de la energía llevándose acabo métodos y soluciones que influyan directamente en la explotación eficiente de las instalaciones logrando así disminuir los altos consumos y las grandes pérdidas. La racional utilización de la energía es en estos momentos un objetivo de primer orden, por que incide directamente en los indicadores técnicos – económicos de un país. Observando que el uso eficiente de la energía, disminuye paulatinamente la contaminación ambiental y permite la utilización racional de los recursos energéticos no renovables.

Por último, la combinación de los elementos pasivos “de toda la vida” (resistencias, bobinas y condensadores) con los elementos semiconductores (diodos, triodos, tiristores...) que controlan hoy en día la mayoría de la energía eléctrica en la red, supone una problemática más a añadir a la hora de optimizar el rendimiento de líneas, instalaciones y equipamientos.

Por lo tanto es de obligado cumplimiento observar y analizar todos los parámetros de calidad de onda a la hora de seleccionar el sistema de compensación de reactiva más adecuado en cada caso.

## **1.2 Trabajos precedentes.**

El hospital “Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero” se comenzó a construir en el año 1984 siendo su costo valorado en 10 millones de pesos aproximadamente, su construcción total duró 7 años, el mismo además de ser una institución de primer orden por su importancia social, también constituyen un importante consumidor de energía dentro del municipio Moa, por lo que se debe velar porque en el mismo exista un plan de medidas técnicamente fundamentadas que contribuya al uso racional del portador electricidad y a la disminución de los costos de la entidad por concepto de pago de electricidad. En el cual con el transcurso de los años se han realizado varios trabajos relacionados con la eficiencia energética en la institución. Vinculados con la implementación de metodologías, así como diagnósticos energéticos y control de las cargas en los diferentes horarios del sistema eléctrico. Los que de forma muy superficial han abordado el tema de las pérdidas y consumos excesivos de energía, así como el del bajo factor de potencia al cual se le ha hecho énfasis por ser la entidad mensualmente penalizada. Siendo este el principal objetivo del presente trabajo, lograr la adecuada compensación del factor de potencia a través de los métodos de corrección para un mejor comportamiento y estabilidad en las líneas de distribución.

Para el desarrollo de esta investigación también fueron consultados diferentes trabajos y estudios, orientados en dos líneas fundamentales:

- ❖ Trabajos teóricos y prácticos que se han desarrollado en los sistemas de suministro eléctrico para el estudio de la compensación de la potencia reactiva y la mejora de otros parámetros de calidad de energía.
- ❖ Procedimientos para establecer el conjunto de soluciones del Problema General de Optimización Discreta donde se incluyen los métodos clásicos y los métodos más actuales relacionados con las técnicas heurísticas para la búsqueda, preparación y toma de decisiones eficientes.

### **1.3 Revisión bibliográfica.**

En los últimos años, la temática de compensación de la potencia reactiva en las redes de suministro eléctrico industriales ha sido trabajada ampliamente, debido a los problemas causados por un bajo factor de potencia en los sistemas eléctricos, asociados al funcionamiento inadecuado de las máquinas y el aumento de las pérdidas, lo que se traduce en la reducción de la eficiencia del sistema. La solución más utilizada ha sido la instalación de bancos de condensadores para la compensación de la potencia reactiva, en dependencia del reactivo necesario que garantice pérdidas mínimas en los sistemas eléctricos.

En el presente trabajo se parte de la general aceptación de condensadores como elementos correctores en la compensación de la demanda de potencia reactiva de las cargas y el mejoramiento del perfil de voltaje del sistema. Por otro lado, si la ubicación y dimensionamiento de los bancos de condensadores no se realiza de forma apropiada en los nodos de la red, puede traer como consecuencia un incremento de las pérdidas de energía.

Algunos autores refiriéndose a la calidad de energía, indistintamente hacen énfasis en los parámetros anteriormente mencionados, por ejemplo:

Hernández, 2000 [21] realiza la compensación de la potencia reactiva para una red industrial con la utilización de la programación lineal, utilizando en la función objetivo los costos de compensación y como restricciones la variación de la potencia y la cantidad de reactivo necesario a instalar en cada nodo. En el trabajo no se consideraron las cargas no lineales ni el carácter discreto del problema de compensación de potencia reactiva.

“Manual del analizador de redes de NORTHWOOD DATA LOGRES LTD”. [26]

En este manual se pudo conocer la técnica para las mediciones en el cual venia de una forma clara y comprensible para el operador, en nuestro caso fue la primera medición con un equipo analizador de redes y con la inconveniencia de que hay que utilizar una PC con WINDOWS 98 para poder descargar la información.

“Manual de Aplicaciones de las Tarifas Eléctricas. Cuba”. 2002. [27]

A través de este manual se conoció la tarifa que se aplica en los diferentes sectores del país, así como una serie de cálculos para determinar las pérdidas en los transformadores, el factor de potencia y algunos conceptos.

FEODOROV A.A; RODRIGEZ LOPEZ, E. Suministro eléctrico de empresas industriales La Habana. 1980 [10] .En esta obra se utilizó todo lo relacionado con las cuestiones fundamentales del sistema de suministro eléctrico de empresas industriales, tales como: cargas eléctricas, selección de los parámetros de los sistemas de suministro eléctrico industrial, compensación de la potencia reactiva, localización de las subestaciones de alimentación y otras cuestiones fundamentales de los sistemas de suministro eléctrico.

En el trabajo de González I, 1999 [15] se establece un procedimiento para la compensación de la potencia reactiva, a través de un acomodo de carga en una red industrial, con un análisis de las principales medidas organizativas que pueden ser implementadas por etapas y solo después de ser valorado el efecto de las mismas, se procede a la introducción de medidas que conllevan a la realización de inversiones en el sistema. La autora en otros trabajos en el 2004 y 2005[14] [16], aborda la optimización de la potencia reactiva con el uso de la programación dinámica, utilizando en la función objetivo una función de gasto, donde analiza diferentes niveles de tensión y fuentes de energía reactiva a instalar. Además permite hallar un intervalo óptimo de  $n$  soluciones para los nodos del sistema. Se formula la tarea de optimización y la ubicación de los dispositivos de compensación para un modelo en el que interviene un conjunto de ecuaciones diferenciales, considerándose el carácter dinámico del problema. El planteamiento contrasta con los problemas de optimización estática, en los cuales se busca un punto óptimo en un espacio de  $n$  dimensiones, donde se maximiza o minimiza el valor de una función objetivo conocida.

Maliuk S. en 1980 [23], profundiza de forma muy acertada en la influencia del factor de potencia en la industria. Analiza la compensación del reactivo a través de condensadores y la utilización de los motores sincrónicos sobreexcitados para la entrega de reactivo, disminuyendo considerablemente las pérdidas en el sistema.

Ying-Yi Hong, y Saw-Yu Ho en 2005 [41] muestran un método basado en los algoritmos genéticos para determinar la configuración de la red que garantice mínimas pérdidas de potencia. En el método propuesto, formularon el problema de forma multicriterial, para condiciones normales y de contingencias. Las configuración del sistema para las soluciones esperadas, fueron logradas en redes de 16 y 33 nodos, lográndose eficazmente la minimización de las pérdidas.

Yong-jun Zhang and Zhen Ren en 2005 [42] presentan un modelo que ajusta los costos de los dispositivos correctores (de la potencia reactiva) con el objetivo de disminuir las pérdidas de energía para un estado determinado de la carga. Se presenta la simulación para demostrar que el modelo propuesto refleja el principio de maximización de ganancia, donde se puede disminuir las pérdidas de potencia activa.

Fernão Pires D., Gomes Martins A., y Henggeler Antunes C. en 2005 [11], presentan un modelo multicriterial con la utilización de una técnica heurística basada en Búsqueda Tabú para proporcionar la ubicación de condensadores en redes de distribución radiales. Esta formulación tiene en cuenta dos funciones objetivo: minimizar las pérdidas de la línea y minimizar los costos del banco de condensadores. La metodología presentada lleva la búsqueda potencialmente hacia una región de las soluciones con las características buenas, permitiendo al investigador escoger la solución que mayormente lo satisfaga tomando en consideraciones sus preferencias. El método resultó ser eficaz y se desarrolló fundamentalmente para sistemas radiales de distribución, comprobándose la efectividad del método para resolver este problema de optimización.

PRECONS II, Sistema de Precios de la Construcción, Habana 2006. [29]. El libro presenta conjunto de instrucciones Precons que no es más que el documento metodológico para la aplicación del sistema de precios. Este manual de precios incluye documentos referidos al prontuario sobre el proyecto de organizaciones de obras y alas normativas de la ficha de gastos en pesos convertibles (CUC) a través de los cuales se confeccionará la ficha de gastos en pesos convertibles del proyecto.

### **Análisis de las cargas instaladas.**

#### **1.4.1 Generalidades del sistema de distribución de energía eléctrica del hospital.**

Antes de realizar el análisis de cualquier circuito y de buscar alternativas de ahorro de energía eléctrica, en el mismo es preciso caracterizar el sistema de alimentación, ya que este influye en las pérdidas y pago de energía eléctrica a la entidad proveedora.

El Hospital “Guillermo L. Fernández Hernández Baquero por las características de su equipamiento y los servicios que presta está considerado un consumidor de primera categoría, este consta de un número considerable de nodos con cargas de diferente naturaleza y niveles de tensión. Esto hace que los análisis de flujo de carga sean muy complejos y requieran del apoyo de la modelación y de las mediciones de los parámetros del sistema para poder realizar una evaluación y efectuar mejoras en los índices de calidad y eficiencia de la red.

A la entidad se le suministra la energía eléctrica a través de los circuitos 21 de las Coloradas o expreso y 2 del Caribe, ambos líneas de media tensión (13.8 kV). Tiene una subestación con un transformador en aceite que tiene una potencia de 1000 kVA y reduce el voltaje a 480 V. Este cuenta además con dos sistemas de generación diesel de 600 kVA = 480 Kw. cada uno para caso de emergencia. Según el esquema monolineal, de dicha subestación salen dos circuitos principales: Circuito de Emergencia que alimenta aproximadamente el 77% de la carga nominal del hospital y Circuito Normal que alimenta aproximadamente el 23% de la carga nominal, estos circuitos van a las pizarras de distribución (PGD), las cuales poseen breakers automáticos de donde se manipula el suministro de energía eléctrica a los transformadores ubicados en las diferentes áreas del hospital, los mismos son del tipo seco con conexión  $\Delta/Y$  aterrada. Dichos transformadores reducen el voltaje de 440 V a 220 V y 127 V con el neutro según el servicio que interese brindar, voltaje apto para la utilización de los equipos eléctricos (médicos y no médicos).

**Tabla 1.1. Ubicación de los transformadores en el Hospital.**

No	S, KVA	Up, V	Us, V	Is, A	Conexión	Piso	Ubicación
T 1	1000	13800	460	1250	$\Delta/Y$	1	Cuarto subestación
2	37	440	220/127	97	$\Delta/Y$	1	Entrada a las plantas eléctricas
3	15	440	220/127	39	$\Delta/Y$	1	Al lado del baño de mantenimiento
4	75	440	220/127	160	$\Delta/Y$	1	Al lado del taller de los eléctricos “C”.
5	16	440	220/127	42	$\Delta/Y$	1	Al lado del taller de los eléctricos “C”.
6	50	440	220/127	131	$\Delta/Y$	1	
7	45	440	220/127	118	$\Delta/Y$	1	
8	37	440	220/127	42	$\Delta/Y$	3	Banco de la sala de Ortopedia. No 1
9	16	440	220/127	42	$\Delta/Y$	3	Banco de la sala de Ortopedia. No 2
10	16	440	220/127	42	$\Delta/Y$	3	Banco de la sala de prematuros.
11	16	440	220/127	42	$\Delta/Y$	3	Banco de nefrología
12	10	440	220/127	26	$\Delta/Y$	3	Banco al lado del salón de operaciones.
13	150	440	220/127	131	$\Delta/Y$	3	
14	27	440	220/127	71	$\Delta/Y$	3	Banco al lado del salón de operaciones.
15	50	440	220/127	396	$\Delta/Y$	3	Salón de operaciones
16	16	440	220/127	42	$\Delta/Y$	4	Sala de obstetricia.
17	50	440	220/127	131	$\Delta/Y$	4	Sala de puerperio.

#### **1.4.2 Caracterización e información de los circuitos principales y ramales.**

##### **Subestación principal.**

Transformador principal: 13800 V – 480 V. Alimenta todo el hospital (suministro de la red nacional).

En este transformador en caso de algún problema existente los autorizados a trabajar en él son los operadores de la empresa eléctrica, encargándose también de la conexión y desconexión del circuito del cual se va alimentar.

Características:

- Potencia: 1000 KVA.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Fases: 3.
- Conexión:  $\Delta/Y_{H-11}$ .
- Características del primario: 13200 V con 43,75 A.
- Características del secundario: 460 V con 1250 A.
- Peso total: 4890 Kg.
- Peso del aceite: 1225 Kg.
- Marca: TM 1000/10-74T1.
- Fabricación: Ex URSS.
- Cantidad de taps: 5.

I: +5 %

II: +2.5 %

III:  $\pm 1$  %

IV: -2.5 %

V: -5 %

### **1.5- Gráficos de cargas eléctricas.**

El fundamento de la solución racional del complicado conjunto de problemas técnico – económico en la proyección del suministro eléctrico en empresas estriba en la correcta determinación de las cargas eléctricas probables. La determinación de las cargas eléctricas es la primera etapa de la proyección de cualquier sistema de suministro eléctrico. Las magnitudes de las cargas eléctricas determinan la selección de todos los elementos e índices técnicos – económicos del proyectado sistema de suministro. De la correcta valoración de las cargas esperadas dependen los gastos capitales: gastos de metal no ferroso, de pérdidas de energía eléctrica de explotación, etc. Los errores en la determinación de las cargas eléctricas conducen al empeoramiento de los índices técnico – económicos de la empresa.

La carga eléctrica caracteriza el consumo de energía eléctrica de: receptores independientes, grupos de receptores y la empresa en su conjunto. Para la proyección y explotación de sistemas de suministros eléctricos de empresas son fundamentales tres tipos de cargas: potencia activa ( $P$ ), potencia reactiva ( $Q$ ) y corriente ( $I$ ).

Las cargas eléctricas pueden ser observadas, visualmente, por medio de instrumentos de medición o registradas por equipos registradores. Los cambios de las cargas pueden ser registrados en forma de una curva continua, o escalonada.

Las curvas de cambio de potencia activa, reactiva y de corriente, con respecto al tiempo, se denominan gráficos de carga de potencia activa, reactiva y de corriente, respectivamente.

Los gráficos pueden ser clasificados en:

- Individuales para receptores.
- Independientes de energía eléctrica.
- En grupos para grupos de receptores.

Los gráficos individuales de cargas se simbolizan con letras minúsculas  $p(t)$ ,  $q(t)$ ,  $i(t)$ ; los gráficos de grupos se simbolizan con iguales; letras pero mayúsculas:  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $I(t)$ .

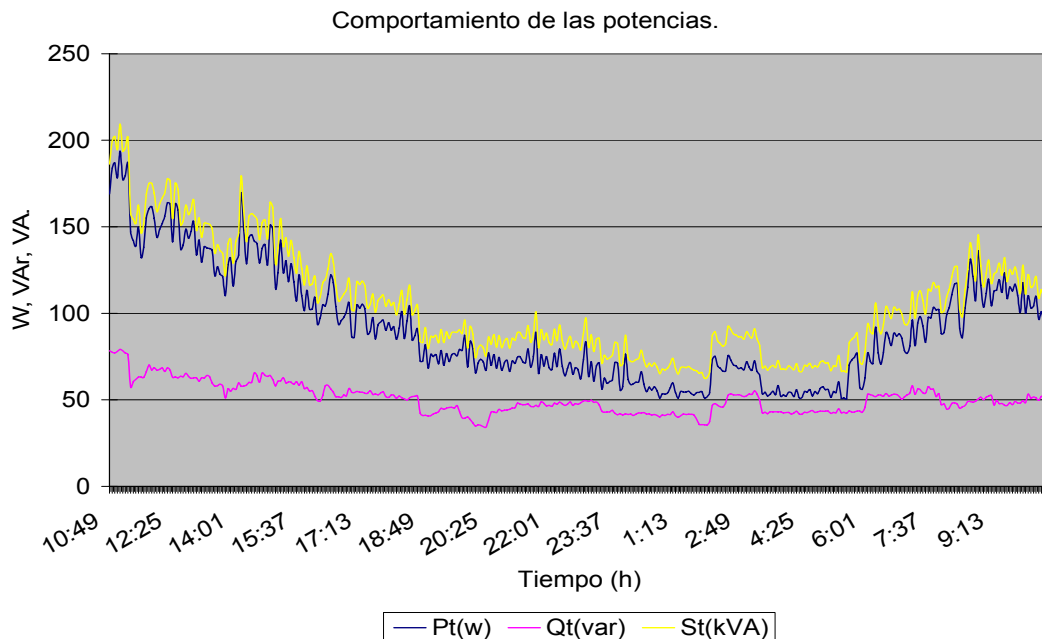
**Tabla. 1.2. Comportamiento de la carga total en el Hospital (secundario del transformador principal.)**

Date	Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(VAr)	St(kVA)	FP
29/01/09	10:49	243.7	242.2	242.3	258.6	248.5	258.6	168.98	78.28	186.25	0.9
29/01/09	11:05	269.4	274.6	266	258.3	258.4	257.8	193.68	79.2	209.26	0.92
29/01/09	11:21	206.5	200.2	204	257.5	258.8	257.8	147.02	57.41	157.87	0.93
29/01/09	11:37	187.9	187.5	185.4	260.5	261.4	261.2	132.22	63.09	146.51	0.9
29/01/09	11:53	225.8	221.8	221.9	260.5	262.1	261.5	161.58	67.3	175.05	0.92
30/01/09	12:09	220.6	208.5	207.8	260.9	262.1	261.9	151.97	68.42	166.7	0.91
30/01/09	12:25	202.7	191.9	196.3	261.2	262.5	261.9	141.33	62.98	154.78	0.91
30/01/09	12:41	204	183.7	195	262	263.6	263.4	139.44	63.36	153.3	0.9
30/01/09	12:57	221.3	196.4	211.6	261.6	263.6	263	152.97	62.69	165.53	0.92
30/01/09	13:13	201.4	185.6	193.1	260.9	262.5	262.3	138.42	62.64	152.02	0.91
30/01/09	13:29	181.5	163.3	174.6	258.6	260.3	260	121.67	58.02	134.94	0.9
30/01/09	13:45	165.5	150.6	152.2	258.3	259.5	260	110.26	51.05	121.59	0.9
30/01/09	14:01	192.4	174.8	177.7	258.3	259.9	260	129.95	56	141.6	0.91
30/01/09	14:17	192.4	171	180.3	258.6	259.9	260	128.59	58.44	141.4	0.9
30/01/09	14:49	195	172.9	182.2	258.6	259.9	260	127.91	63.56	142.99	0.89
30/01/09	15:05	187.9	165.2	178.4	257.9	259.5	259.3	123.39	60.77	137.72	0.89
30/01/09	15:21	182.2	161.4	170.1	257.5	258.8	258.6	118.28	60.31	132.91	0.88
30/01/09	15:53	163.5	139.2	150.9	255.7	257.3	256.7	102.37	55.03	116.46	0.87
30/01/09	16:09	158.4	128.4	139.4	255.7	257.3	256.3	97.21	49.27	109.34	0.88
30/01/09	16:25	181.5	173.5	166.9	256.4	257.7	257.1	122.08	56.28	134.46	0.9
30/01/09	16:57	135.3	132.2	125.3	259	260.3	259.7	86.51	54.36	102.19	0.84
30/01/09	17:13	159.7	148.1	147.7	259.8	261	260.4	105.27	54.32	118.51	0.88
30/01/09	17:45	144.9	137.9	143.9	257.9	259.5	258.6	95.99	54.57	110.47	0.86
30/01/09	18:01	140.5	132.2	136.2	258.3	259.5	259.3	92.16	52.58	106.13	0.86
30/01/09	18:33	135.3	129.6	131.7	254.6	255.9	256	87.13	52.12	101.55	0.85
30/01/09	19:05	118.6	105.5	113.8	257.2	258.8	258.9	76.18	42.34	87.25	0.87
30/01/09	19:37	124.4	99.8	118.3	258.3	260.3	260.8	75.47	46.69	89.09	0.84
30/01/09	20:09	113.5	99.1	101.6	251.6	253.7	253.7	71.26	35.61	79.77	0.89
30/01/09	20:41	114.8	104.8	115.1	258.6	260.3	260.4	74.6	44.49	86.98	0.85
30/01/09	21:13	118	104.8	115.1	260.9	262.8	262.6	74.85	47.52	88.79	0.84
30/01/09	21:45	121.2	106.1	117.6	260.9	262.8	263	76.13	48.78	90.58	0.84
30/01/09	22:17	108.4	100.4	109.3	263.1	264.7	265.2	69.2	47.62	84.1	0.82
30/01/09	22:49	115.4	102.9	113.2	266	267.2	267.8	73.29	49.34	88.47	0.82
30/01/09	23:21	97.5	94.7	97.2	260.5	261.7	262.3	62.5	42.78	75.77	0.82
30/01/09	23:53	116.1	101	117	259.8	261.4	261.5	76.32	41.87	87.28	0.87
30/01/09	0:25	92.3	80	90.8	260.5	262.1	262.3	54.69	41.85	69	0.79
30/01/09	1:29	97.5	76.9	89.5	260.9	262.8	263	54.92	41.76	69.26	0.79
30/01/09	2:01	92.3	75	82.5	262.3	263.9	264.5	54.12	37.49	66.03	0.81
30/01/09	2:33	122.5	104.8	117	262	263.6	264.1	73.08	53.48	90.75	0.8
30/01/09	3:05	110.9	101	112.5	263.1	264.7	264.9	67.11	53.18	85.76	0.78
30/01/09	3:37	95.5	78.8	88.8	263.8	265.4	265.6	54.94	43.01	69.94	0.78
30/01/09	4:09	93.6	72.4	88.2	262.7	264.7	264.9	51.89	42.42	67.36	0.77
30/01/09	4:41	95.5	77.5	89.5	263.4	265	265.6	54.88	42.7	69.76	0.78
30/01/09	5:13	96.2	72.4	94.6	262.3	264.3	264.5	54.12	42.54	69.34	0.78
30/01/09	5:45	121.8	99.1	115.1	261.6	263.6	263.4	76.78	43.45	88.51	0.86
30/01/09	6:17	121.8	113.7	122.1	260.1	261.7	261.2	77.14	52.73	93.52	0.82
30/01/09	6:49	132.8	128.4	136.2	256.1	258.1	257.1	88.19	51.88	102.41	0.86
30/01/09	7:21	157.1	136.6	146.4	255.3	257.3	256.3	98.14	55.79	113.06	0.86
30/01/09	7:53	144.9	112.5	131.1	257.9	259.9	259.3	88.29	47.2	100.62	0.87
30/01/09	8:25	139.8	108	129.8	257.2	259.5	258.9	85.88	45.99	97.91	0.87
30/01/09	8:57	155.8	136	154.1	256.8	259.2	258.6	103.53	50.05	115.25	0.89
30/01/09	9:29	175.7	162.1	174.6	256.4	258.4	257.8	123.4	46.89	132.15	0.93

Como se aprecia en la gráfica 1.1 de potencia del transformador principal, la demanda de potencia activa comienza a crecer a partir de las 7:00 AM, alcanzando su máximo valor aproximadamente las 11:00 AM, luego va disminuyendo paulatinamente en los horarios de la tarde, noche y madrugada alcanzando su menor valor a las 1:30 de la madrugada. Por su parte el factor de potencia, mantiene sus mejores valores durante el día cuando existe la mayor demanda y es favorecido por la conexión de las autoclaves y otras cargas resistivas. En los horarios de la noche y la madrugada baja hasta alcanzar valores de 0.76, debido al predominio de cargas inductivas como son el alumbrado y los equipos monofásicos de climatización. (Ver gráfico 1.3). Es preciso aclarar que este transformador no trabaja ni al 30 % de su capacidad nominal.

En el los anexos 1.1 al 1.18 se muestran los gráficos para el resto de las cargas existentes en los nodos. A continuación en los gráficos 1.1 y 1.2 se muestra el comportamiento de la carga y el factor de potencia para el nodo principal del sistema.

Gráfico 1.1 Comportamiento característicos de las Potencias.



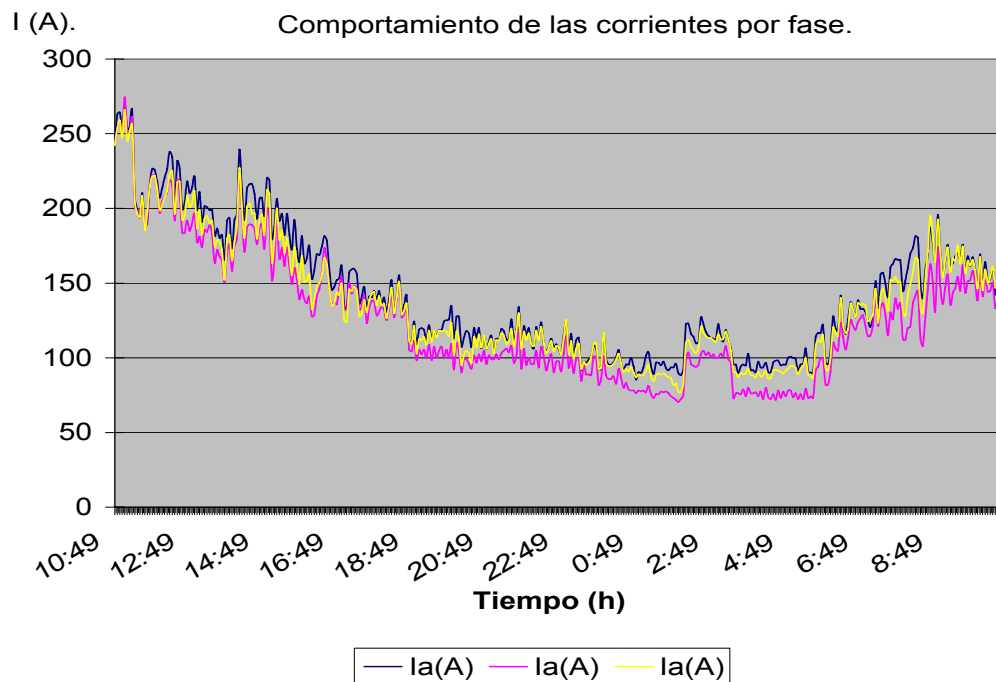


Gráfico 1.2 Comportamiento de las corrientes por fase.

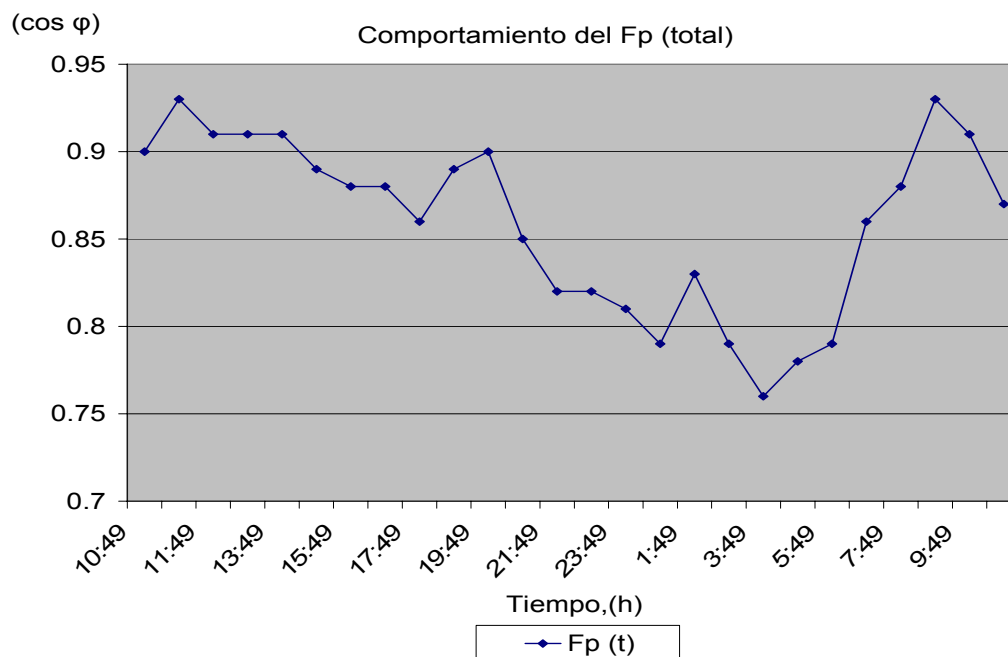


Gráfico 1.3 Comportamiento del factor de potencia Total.

### 1.6- Análisis y representaciones gráficas del comportamiento en años anteriores del consumo y el factor de potencia en la entidad.

Con el transcurso de los años en la entidad han sido notables las penalizaciones realizadas por el existente bajo factor de potencia representando un gran número de pérdidas, tanto del punto de vista económico como eléctrico viéndose afectada la entidad en estos fundamentales aspectos. En la tabla 1.3 se muestra el comportamiento de estos factores tan importantes. (Ver gráfico 1.3 y 1.4).

**Tabla 1.3. Análisis comportamiento del Factor de potencia y las penalizaciones aplicadas a la entidad en años anteriores.**

Meses	Año 2005		Año 2006		Año 2007	
	cos fi	Penali(\$)	cos fi	Penali(\$)	cos fi	Penali(\$)
Enero	0.88	166.62	0.86	350.9	0.85	455.05
Febrero	0.87	259.49	0.84	511.11	0.85	437.08
Marzo	0.85	405.18	0.83	578.91	0.87	293.55
Abril	0.87	259.14	0.82	753	0.86	376.51
Mayo	0.88	170.05	0.84	559.13	0.86	396.82
Junio	0.88	194.85	0.84	620.17	0.88	212.36
Julio	0.88	190.17	0.85	529.58	0.87	332.62
Agosto	0.89	94.6	0.86	407.59	0.85	461
Septiembre	0.88	184.23	0.85	525.2	0.86	423.05
Octubre	0.89	92.17	0.86	425.03	0.87	331.6
Noviembre	0.88	186.54	0.85	474.68	0.85	447.05
Diciembre	0.89	272.26	0.87	332.62	0.85	457.5
Total		2475.3		6067.92		4624.19

En el presente trabajo se tomo como fundamental referencia el año 2008 porque se obtuvo una mayor cantidad de información con respecto a los años anteriores. Logrando conocer el consumo en los diferentes horarios así como el consumo pico, las pérdidas, el % en pérdidas, el factor de potencia y las penalizaciones respectivamente. Los cuales se muestran en la tabla 1.4.

**Tabla 1.4. Comportamiento característico del año 2008.**

Meses	Madr	Día	Pico	Pérd	Total	Pérd	cos $\phi$	Penaliz
	(Kw/h)	(Kw/h)	(Kw/h)	(Kw/h)	(Kw/h)	%		(\$)
Enero	0	52500	8500	2076	63076	2.88	0.84	523.83
Febrero	0	56602	9351	1977	67930	2.71	0.84	549.47
Marzo	0	62946	10373	2132	75451	2.94	0.86	392.37
Abril	0	60095	9472	2050	71617	2.65	0.86	380.16
Mayo	0	70406	11041	2173	83620	2.64	0.87	315.59
Junio	0	64025	9820	2066	75913	2.8	0.87	285.68
Julio	0	70993	11305	2173	84471	2.67	0.88	214.1
Agosto	0	70979	10964	2171	84134	2.95	0.88	209.79
Septiembre	18325	41526	8874	2023	70748	2.91	0.86	386.31
Octubre	20616	49554	10829	2195	83194	3	0.83	947.4
Noviembre	18063	44063	9356	2060	73542	3.4	0.86	402.71
Diciembre	17667	42278	9422	2035	71402	2.93	0.84	591.84
<b>Total</b>	<b>74671</b>	<b>685967</b>	<b>119307</b>	<b>25131</b>	<b>905098</b>	<b>34.48</b>		<b>4812.9</b>

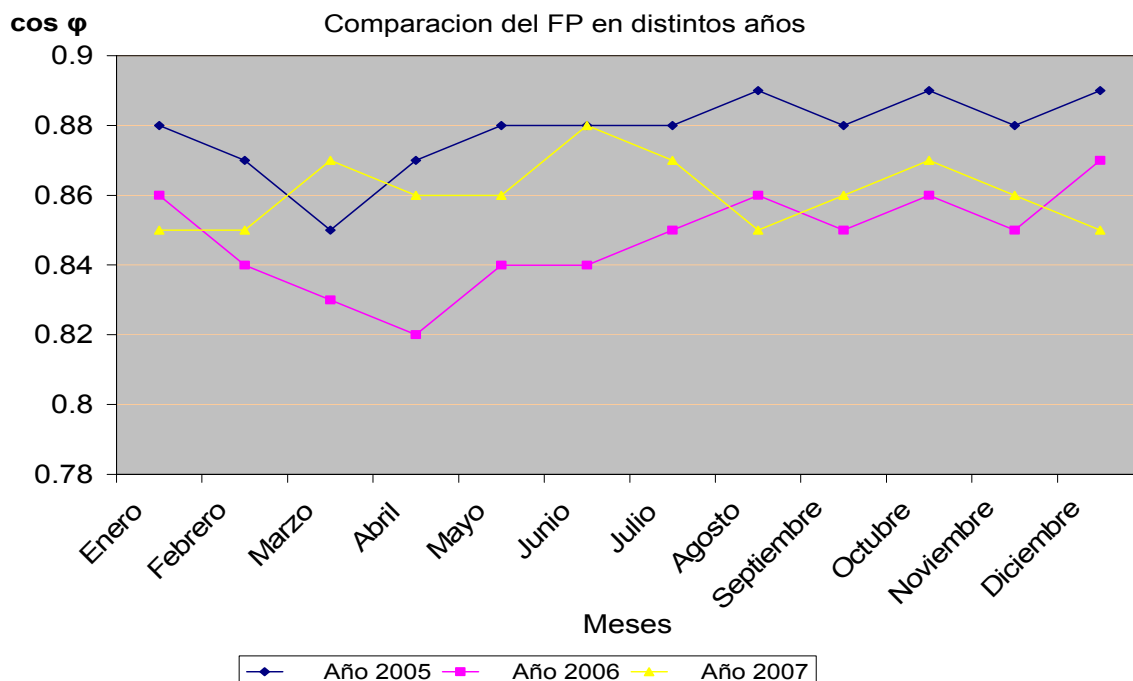


Gráfico 1.3 Comparación del Factor de Potencia en distintos años.

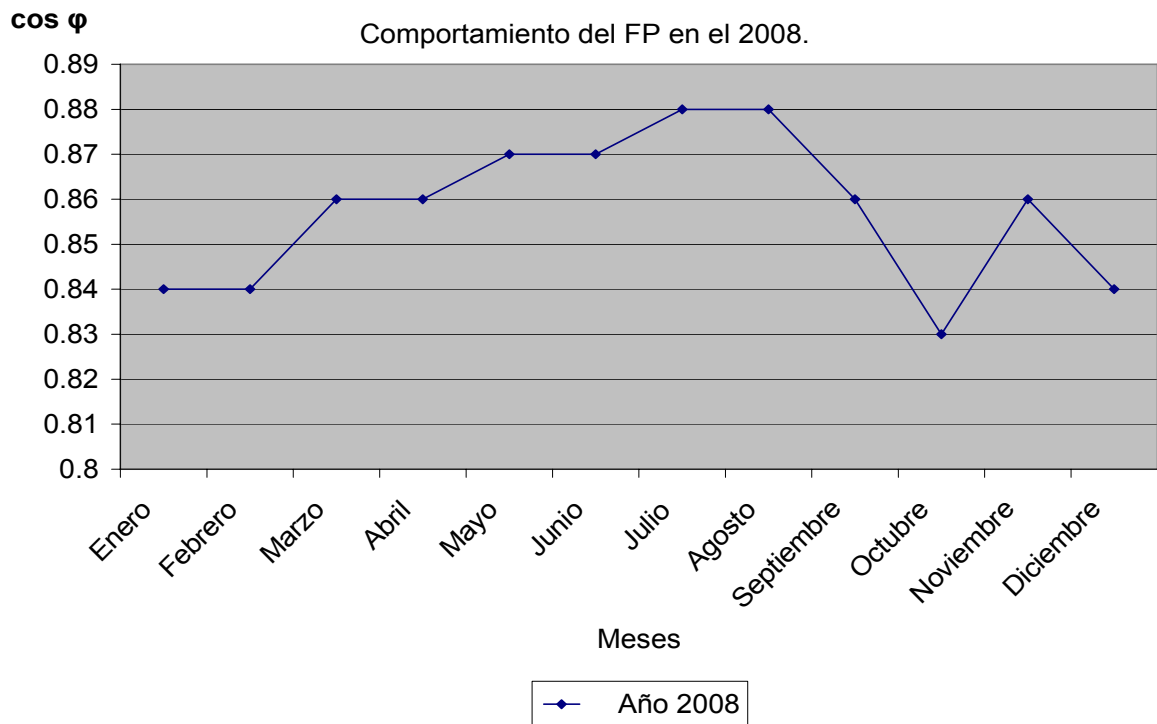
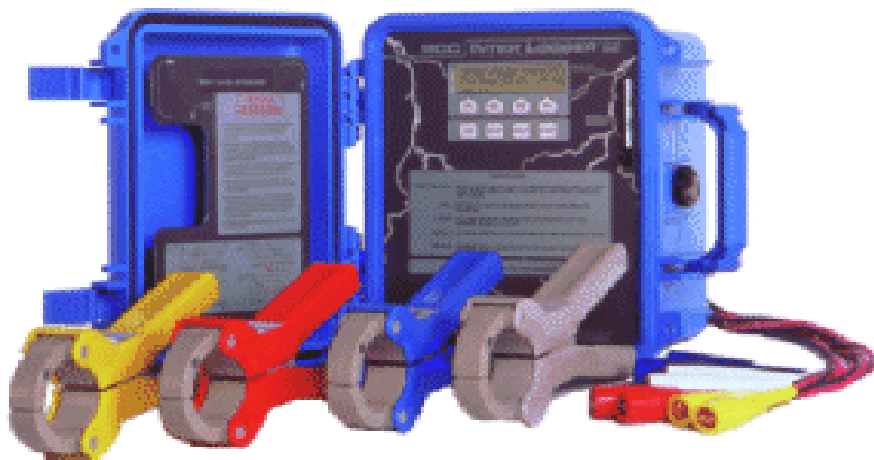


Gráfico1.4 Comportamiento del FP en el 2008.

### 1.7 Materiales y equipos utilizados para las mediciones.

Para la realización de la investigación se ha empleado fundamentalmente el siguiente instrumento de medición.

- Analizador programable de redes Inter Logger de 8 canales.

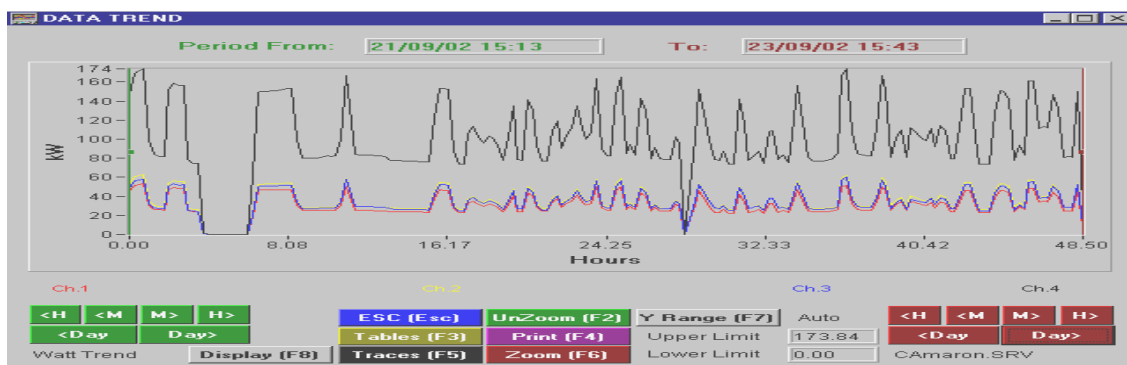


**Fig.1.1. Analizador de Redes de NORTHWOOD DATA LOGGERS LTD.**

En la Fig. 1.1 se puede observar el analizador utilizado en la investigación el cual posee una tarjeta clave Powers KeyCard la cual constituye el eje tecnológico principal en la medición de potencias y consumos junto con el Data Trend (software compañero intuitivo del Inter Logger) se podrán observar:

- Tendencias en tensión, intensidad, potencias activa, reactiva y aparente y factor de potencia para las tres fases y el neutro.
- En el PC se podrán presentar las formas de onda y actividad armónica, tanto en tensión como en corriente.
- La frecuencia de la red en el canal.

Este registrador es un sistema analizador trifásico de tensiones y corrientes, capaz de medir el contenido armónico y demás parámetros RMS de cada una de las fases. Empleando un complejo algoritmo matemático, este analizador puede averiguar porcentualmente, el contenido de armónicos y la distorsión armónica total en cada fase de tensión y corriente. Las mayorías de las medidas pueden ser leídas en el campo en el display del aparato, mientras que los datos registrados se podrán volcar en un PC vía puerto serial RS232 o mediante la tarjeta de memoria PCMCIA. El interfaz para tarjeta de memoria aporta también los medios para programar y actualizar el sistema operativo del Inter Logger. Este aparato se alimenta de la línea en todo su rango de medida y la batería recargable mantiene la información registrada en el caso de fallo de tensión. A continuación presentamos una de las pantallas fundamentales con las que cuenta el DATA TREND, software que interactúa con los datos medidos, brindando la posibilidad hasta de exportarlos a programas de manejo de bases de datos.



### **1.8 Obtención del flujo de cargas.**

Por lo general, el análisis y la investigación en las ciencias energéticas y en particular para los sistemas eléctricos, comienzan con una formulación apropiada de los modelos de sus elementos, apoyados en las mediciones y las herramientas de simulación, lo que permite realizar la evaluación de los sistemas en diferentes regímenes de operación ante las variaciones de los elementos de la red.

El bajo factor de potencia no es un fenómeno nuevo en los sistemas eléctricos de distribución, pero desde muchos años atrás se ha convertido en un problema de gran importancia en la actualidad, debido a la incorrecta explotación de los sistemas de suministros internos tanto en industrias como entidades. A causa de este bajo factor, la distorsión de las características reales de estas entidades se ha incrementado, produciendo un mal funcionamiento de los distintos elementos en los sistemas eléctricos. Para poder analizar y caracterizar el sistema en condiciones que exista un bajo factor de potencia, se requiere especificar los modelos más apropiados para los diferentes componentes del sistema, teniendo en cuenta la dependencia de estos con la frecuencia y realizar las mediciones adecuadas en el sistema eléctrico de distribución objeto de estudio. La problemática que implica la existencia de un bajo factor de potencia en la red ha conllevado al estudio de la calidad de la energía en el suministro eléctrico, cuyo objetivo es definir las normativas que cuantifiquen y limiten este bajo factor a niveles tolerables para el sistema y los receptores. Por otra parte, ha dado lugar al desarrollo de los métodos para el análisis de flujo de cargas que permite obtener todos los datos necesarios para la frecuencia fundamental en todos los nodos de la red, así como los parámetros que caracterizan el comportamiento del ( $\cos \phi$ ) para un estado de carga dado.

Estos estudios de carga, suelen concretarse en el desarrollo de aplicaciones informáticas que permiten determinar el estado de la red para una generación y una demanda dada y analizar los problemas que se pueden presentar debido al bajo comportamiento de este factor, así como evaluar las posibles soluciones. Dentro del presente trabajo está implícita la selección, implementación de modelos adecuados de los elementos del sistema eléctrico de potencia y las metodologías de cálculo de flujos de carga a frecuencia fundamental. (Con la utilización del programa DYSCSE).

### **1.8.1 Metodología empleada para el cálculo del flujo de cargas.**

El flujo de carga, es de gran importancia en los sistemas eléctricos de potencia para resolver problemas de operación económica, regulación de tensión o en la planificación de nuevas cargas mediante la simulación del comportamiento de las mismas. Dentro de los métodos utilizados para el cálculo de flujo de potencia, se encuentran el de Gauss-Seidel, el de Newton Raphsón e Inyección de Corriente, entre otros.

En el estudio del flujo de carga para un sistema eléctrico de  $n$  nodos, los parámetros primarios a considerar son:

1. La matriz de admitancia del sistema  $[Y]$  (compleja, cuadrada, de orden  $n$ ). Se obtiene a partir de los valores de resistencia y reactancia en las ramas del sistema eléctrico.
2. El vector de orden  $n$  de potencias ( $P + j Q$ ) donde  $P$  es la potencia activa y  $Q$  es la potencia reactiva (cada elemento del vector representa los valores de estas potencias en el nodo).
3. El vector de orden  $n$  de voltajes ( $U_R + j U_I$ ) donde  $U_R$  es la componente real de la tensión y  $U_I$  es la componente imaginaria de la tensión (cada elemento del vector representa los valores de la tensión nominal en un nodo y pueden expresarse también por sus magnitudes  $|U|$  y ángulo  $\theta$ ).

### **1.8.2 Modelos de los elementos del sistema.**

En la realización del flujo de cargas es necesaria la modelación de todos los elementos presentes en la red y cuanto más exactos sean estos modelos más correctos serán los resultados en la solución del problema, pero al mismo tiempo los modelos deben ser sencillos para evitar cálculos laboriosos.

La modelación de cada elemento del sistema eléctrico cuando se ve afectado requiere de modelos sencillos que proporcionen resultados suficientemente próximos a la realidad, lo que ha provocado una gran diversidad de estudios que tienen en cuenta las relaciones teóricas conocidas y resultados experimentales para diferentes componentes eléctricos.

### **1.8.3 Las tareas preliminares que se realizan antes de calcular un flujo de cargas son:**

La determinación de la matriz [Y] que se expresa en valores por unidad (PU).

La determinación de los vectores  $(P + j Q)$  y  $(U) = (U_R + j U_I)$  que permiten expresar el vector de corrientes (I) donde  $I = \frac{P - jQ}{U^*} = \frac{P - jQ}{U_R - jU_I}$  y donde U y  $P + j Q$  están

expresados en PU.

Establecer el sistema de ecuaciones  $[Y] (U) = (I)$ .

Se verán primero los modelos de los elementos del sistema que permiten determinar la matriz [Y] y los vectores (U) y  $(P + j Q)$ .

### **1.8.4 Flujo de carga a frecuencia fundamental.**

El tema referente al estudio de flujo de cargas está ampliamente descrito en la bibliografía. Para la solución del mismo a frecuencia fundamental se han utilizado con mayor frecuencia los Métodos de Gauss - Seidel, el de Newton Raphsón y sus modificaciones. Estos métodos presuponen la solución del sistema  $[Y] (U) = (I)$  donde se conocen valores iniciales de (U) e (I) y se obtienen nuevos valores de (U) que a su vez permiten recalcular (I) y este proceso se repite hasta que algún criterio de parada es cumplido.

El Método de Gauss - Seidel se caracteriza por resolver el sistema  $[Y] (U) = (I)$  aún cuando el valor inicial de (U) esté lejos de su valor real, pero posee en su forma original una lenta convergencia, que puede resolverse si se utiliza un Factor de Aceleración que debe ser encontrado para cada matriz [Y], siendo su principal ventaja su fácil programación.

El Método de Newton Raphsón es ampliamente conocido por su robustez y rápida convergencia, sin embargo autores como Sainz, 1995 [34], plantean que puede no converger si los valores de las condiciones iniciales de U no están suficientemente cerca de las soluciones buscadas.

En el presente trabajo se empleó el Método de Gauss - Seidel teniendo en cuenta, la sencillez de su programación y que siempre logra convergencia en un tiempo aceptable si se cuenta con un factor de aceleración adecuado para el sistema eléctrico que se estudia.

El flujo de cargas tiene como objetivo algorítmico determinar las tensiones en cada nodo y las corrientes en cada rama del sistema, donde  $[Y] (U) = (I)$  se puede escribir:

Es necesario precisar que los nodos del sistema eléctrico se clasifican en tres grupos:

- ❖ De Balance (normalmente existe uno solo, mientras son conocidas la tensión y ángulo)
- ❖ De Tensión Controlada. Son aquellos donde se especifican el módulo de la tensión y el valor de Potencia activa  $P$  y se calculan los valores de potencia reactiva  $Q$  y el ángulo de tensión.
- ❖ De Carga. Se conocen las potencias activa  $P$  y reactiva  $Q$ , donde las incógnitas son las tensiones y el ángulo.

El cálculo de  $U_f$  tiene un tratamiento diferenciado en cada tipo de nodo.

#### **1.8.5 Implementación informática del cálculo de flujo a frecuencia fundamental.**

La implementación del flujo de carga se efectuó en dos etapas:

##### **La primera etapa:**

Corresponde a la programación del Método de Gauss – Seidel a partir de la matriz admitancia y los vectores de potencias y tensión en los nodos del sistema en el programa (DYCSE).

##### **La segunda etapa:**

Se realiza a partir de la modelación de los elementos componentes del sistema eléctrico (conductores, transformadores, motores, generadores, condensadores) para la obtención de la matriz de admitancia  $[Y]$  y los vectores de voltaje  $(U)$  y de potencias  $(P + j Q)$  para la obtención del flujo de cargas.

## **1.9 Caracterización preliminar de la investigación.**

### **1.9.1 Etapas en el desarrollo de la investigación.**

La etapa inicial de la investigación comenzó por la selección del objeto específico de estudio: Se realizó la revisión de la documentación técnica del esquema de la subestación de la empresa y de los trabajos investigativos realizados con anterioridad, también se efectuaron mediciones de los principales parámetros eléctricos en los transformadores de la entidad y en la entrada del sistema. Se actualizó la información que se disponía del diagrama monolineal con las características del equipamiento por centros de carga, para así poder caracterizar la potencia instalada y establecer la base experimental que sustenta la investigación.

La metodología utilizada durante el desarrollo de la presente investigación continúa con las siguientes etapas:

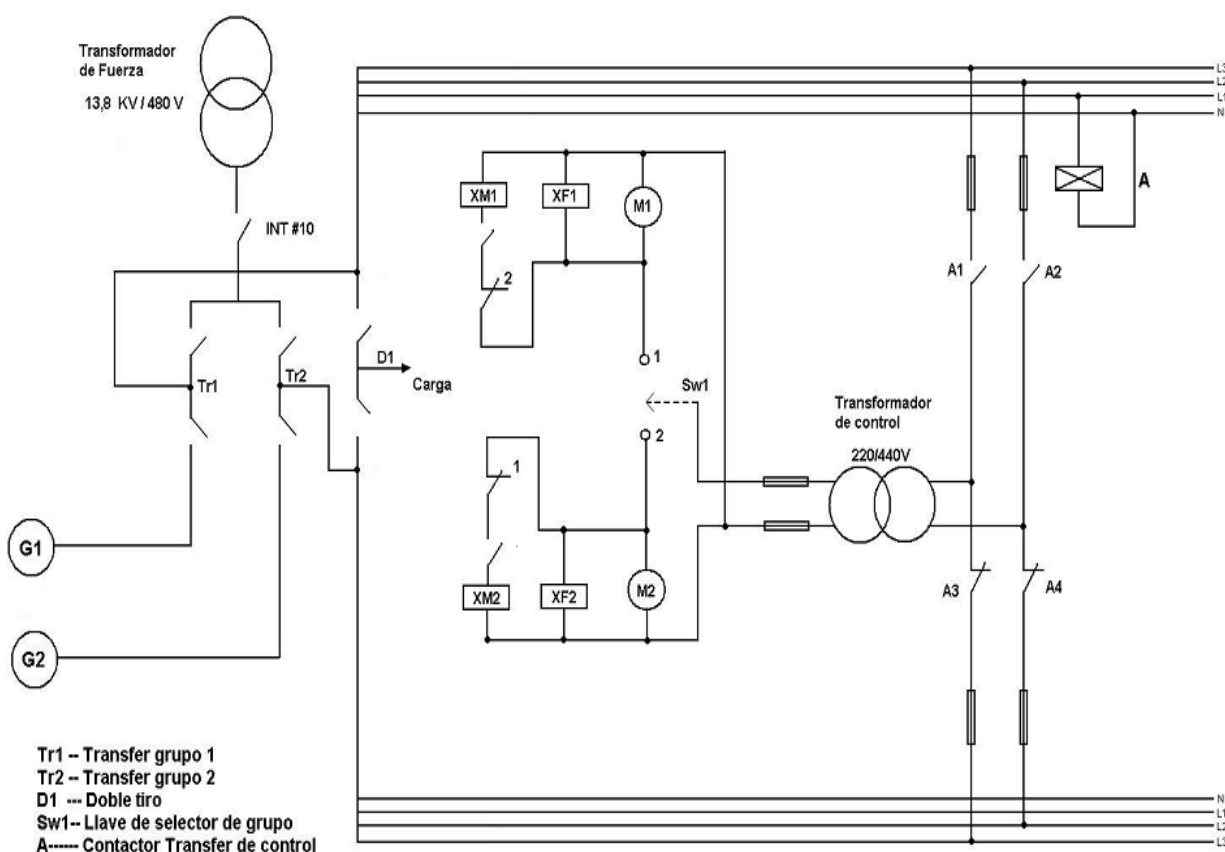
1. Estudio de las literaturas disponible relacionadas con el estado del problema de la compensación de potencia reactiva y de los métodos y enfoques para la solución de problemas de optimización complejos de la ingeniería eléctrica.
2. Estudio de las características de los sistemas de suministro eléctrico de la empresa seleccionada.
3. Selección de los modelos matemáticos del sistema eléctrico y de procedimientos que permitan efectuar cálculos de flujos de carga con eficiencia.
4. Implementación de los modelos del punto 3 en una aplicación informática.
5. Selección de los indicadores técnico-económicos de la calidad de la energía y elaboración de los procedimientos de cálculo de los mismos a partir de valores dados de los elementos del sistema.
6. Análisis de la tarea de compensación de redes de suministro eléctrico industriales como un problema de toma de decisiones bajo criterios múltiples.
7. Definición de la función objetivo y de las restricciones del problema de optimización que describe la búsqueda de configuraciones de un sistema eléctrico que resuelve la tarea de su compensación.
8. Elaboración de un procedimiento eficiente y eficaz para resolver el problema del punto 7 y su implementación en una aplicación informática.

9. Aplicación de los resultados obtenidos desde el punto 2 hasta el punto 8 al estudio del sistema eléctrico del Hospital Guillermo L Fernández Hernández BAQUERO, el cual concluye con un estudio económico sobre el impacto de los principales resultados obtenidos, elaboración de conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### Diagrama monolinial.

Este monolineal es el reducido del hospital, donde solo representa la subestación principal, los grupos electrógenos y el transformador de control con las líneas de distribución.

También tenemos un monolineal más generalizado al cual se hace referencia en los anexos.



## *Conclusiones*

1. Los transformadores secos de distribución situados en las diferentes salas del hospital en su gran mayoría se encuentran subcargados, lo que permite en algunos casos redistribuir las cargas y desconectar del sistema parte de estos transformadores logrando disminuir las pérdidas.
2. El horario de mayor consumo se encuentra entre las 7:00 AM y 2:00 PM, lo que beneficia a la entidad ya que este consumo no se encuentra dentro del horario pico nacional.
3. Conocer las magnitudes de las cargas eléctricas es significativo porque se puede determinar la selección correcta de todos los elementos e índices técnicos – económicos del proyectado sistema de suministro.
4. La utilización de equipos de mediciones fue de vital importancia para lograr una mayor exactitud en los datos a obtener y un mejor registro de los mismos.
5. Entre los métodos analizados para el cálculo de flujos de cargas fue seleccionado por su simplicidad y eficacia el Método de Gauss-Seidel complementado con rutinas que permiten realizar el cálculo para el flujo de carga a frecuencia fundamental con una convergencia y tiempo de cómputo satisfactorios para los sistemas eléctricos.

## **CAPITULO II.**

### **Compensación de la Potencia Reactiva**

---

#### **2.1- Introducción.**

La corriente que nuestras máquinas y equipos eléctricos absorben de la red es una combinación de corriente resistiva y corriente reactiva. Pocas cargas puramente resistivas consumen una corriente que está en fase con la tensión. Normalmente, la presencia de cargas de carácter inductivo produce un retraso de la corriente con respecto de la tensión, de tal manera que durante parte del ciclo de alterna, tensión y corriente tienen distintos signos.

Precisamente durante este corto periodo de tiempo (escasos milisegundos) durante cada ciclo de alterna (duración total 20 mseg. a 60Hz) la potencia generada es de signo negativo, es decir, dicha potencia circula de la carga hacia la fuente, o sea, en sentido contrario.

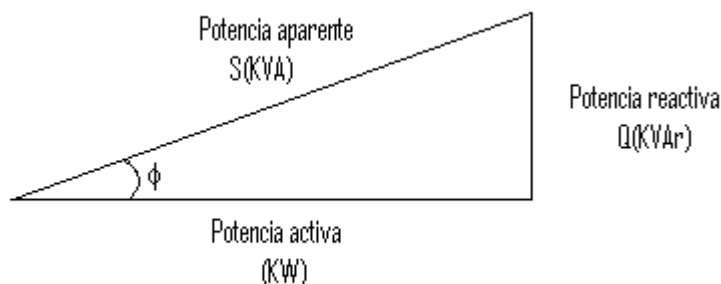
Es precisamente esa energía de sentido opuesto y carácter magnético la que denominamos potencia o energía reactiva.

Este proceso se repite en nuestras redes de corriente alterna a 60Hz a razón de 50 veces por segundo.

Se produce realmente, por tanto, un “ir y venir” constante e indeseado de corrientes por la red, que se traduce en pérdidas.

La potencia reactiva  $Q$  la utilizan las cargas para crear los campos magnéticos transforma en trabajo mecánico en el caso de un motor, aunque sin embargo representa una carga adicional para la compañía eléctrica.

El triángulo de la figura: 3.1 muestra cómo para generar los Kw. necesarios para que el motor funcione, la compañía eléctrica debe generar una potencia aparente (Kva.) superior, debido precisamente a esas pérdidas que en realidad supone la energía reactiva.



**Figura: 2.1 Triángulo de potencia eléctrica.**

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

**2.2 La potencia o energía reactiva circulando por las redes de distribución y por nuestras instalaciones supone importantes efectos negativos, los cuales resumimos:**

- Caídas de tensión en las líneas: las corrientes reactivas que circulan por dichas líneas suponen un aumento de la corriente global a través de las mismas, por lo que la caída de tensión total aumenta. Las compañías eléctricas deben por tanto sobredimensionar líneas, generadores y transformadores.
- Reducción de la energía activa disponible: para una misma potencia aparente generada, la mayor o menor presencia de reactiva influye directamente sobre la activa de la que disponen los consumidores finales.

- Deterioro de la calidad de onda de tensión. Creando distintos tipos de perturbaciones que afectaban a la calidad de la energía que consumen nuestros equipos, y el impacto directo del deterioro de la misma sobre su correcto funcionamiento.

La reactiva es una perturbación más que contribuye a ese deterioro de la onda de tensión, con todas las consecuencias ya descritas.

- Pérdidas en líneas e instalaciones: la reactiva supone disipación adicional de calor y pérdidas energéticas.

- Deterioro del rendimiento del sistema: incluyendo líneas, instalaciones y equipos. Una reactiva alta en nuestras instalaciones implica un mal aprovechamiento de las mismas.

### **2.3 Los grupos de cargas consumidoras de energía reactiva inductiva más comunes en nuestras instalaciones serían:**

- Motores de inducción.
- Transformadores.
- Hornos de inducción.
- Soldadoras de arco.
- Lámparas de descarga.
- Balastos.

Cargas de presencia y número más que relevante en nuestros sistemas.

Es evidente, por tanto, que se debe intentar reducir al máximo la proporción de energía reactiva, tanto en redes como en instalaciones, para lo cual resulta necesario medirla y cuantificarla.

Para ello recurriremos a la solución de almacenar de forma temporal esa energía reactiva en condensadores que correctamente controlados y regulados aporten posteriormente dicha energía en el siguiente proceso de magnetización, liberando de ese modo a las redes de ese esfuerzo innecesario.

Por eso es de vital importancia que sigamos con las definiciones de los conceptos y parámetros básicos, como por ejemplo el que nos indica el nivel de pérdidas que presenta nuestra instalación: ***El factor de potencia.***

## **2.4 ¿Que es el factor de potencia de una instalación?**

Es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio-amperios (KVA).

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias.

Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución.

Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

El factor de potencia es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente consumida por una carga o instalación determinada:

Tradicionalmente siempre se ha denominado “coseno de  $\varphi$ ” ( $\cos \varphi$ ) dado que trigonométricamente coincide con el coseno del ángulo que forman ambos vectores de potencia, siendo  $\varphi$  el ángulo de desfase entre tensión y corriente.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

## **2.5 Causas que provocan un bajo factor de potencia en el circuito de distribución de una entidad.**

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

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

Cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. no causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva.

Sin embargo, como podemos comprobar con la presencia de armónicos en las redes, éstos también suponen pérdidas en las mismas, las cuales contribuyen a elevar más aún la energía aparente necesaria.

La nueva potencia aparente  $S'$  es de mayor dimensión que la original debida únicamente a las pérdidas puramente inductivas. Esto nos lleva, por tanto, a las siguientes conclusiones:

- El único concepto de factor de potencia, como tal, que debemos manejar es el del cociente  $P/S$ . Es un parámetro que nos da una idea de la proporción de energía generada que es transformada en trabajo útil. Dicho de otro modo, nos indica el nivel de pérdidas que tenemos en la instalación. Estas pérdidas engloban, como acabamos de decir, tanto a las pérdidas puramente inductivas debido a las corrientes de sincronismo de motores, etc., como a las corrientes armónicas de nuestra instalación.

- Un bajo factor de potencia es, por tanto, el resultado de un alto contenido de cargas inductivas como de cargas no lineales, consumidoras de corrientes no senoidales.
- El  $\cos \phi$  representa las pérdidas de carácter puramente inductivo dentro de la instalación, a las cuales debemos añadir (en muy menor proporción) las pérdidas a frecuencias armónicas.
- El factor de potencia nunca puede ser  $>1$ , siendo ésta la situación óptima.
- Los analizadores de redes de última generación muestran ambos valores cuando se monitoriza en línea los parámetros de potencia.

***2.6 El hecho de que exista un bajo factor de potencia en su entidad produce los siguientes inconvenientes:***

**Al suscriptor:**

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

**A la empresa distribuidora de energía:**

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

Una forma de que las empresas de electricidad a nivel nacional e internacional hagan reflexionar a las industrias y entidades sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de energía reactiva ha sido a través de un cargo por demanda, facturado en Bs./KVA, es decir cobrándole por capacidad suministrada en KVA. Factor donde se incluye el consumo de los KVAR que se entregan.

## ***2.7 Disposiciones Reglamentarias con respecto a la Corrección de Energía Reactiva. Generalidades.***

En todos los suministros de servicio eléctrico trifásico, con carga contratada iguales o superiores a 10Kw. Se instalarán medidores de energía reactiva a los efectos de poder controlar el nivel óptimo previsto de  $\cos \varphi = 0,92$ , inductivo, y de aplicar las tarifas correspondientes.

Con este fin se ha implementado un sistema de tarifas que penalizarán, en forma gradual, los valores de  $\cos \varphi$  inferiores al nivel establecido, pudiendo llegar hasta la suspensión del servicio, cuando el valor medio del  $\cos \varphi$  sea inferior a 0,60.

### ***2.7.1 El recargo de reactiva.***

Las compañías eléctricas penalizan el consumo de energía reactiva con el objeto de incentivar su corrección. La manera de aplicar dicha penalización es a través de un coeficiente de recargo que se aplica sobre el importe en pesetas del término de potencia (potencia contratada) y sobre el término de energía (energía consumida). Este recargo se aplica para todas las tarifas superiores a la 3.0 (trifásicas de potencia contratada superior a 15 Kw.).

El coeficiente de recargo (Kr) se obtiene a partir del  $\cos \varphi$  medio de la instalación según la siguiente fórmula:

$$Kr (\%) = (17/\cos^2 \varphi) - 21$$

En la figura 2.2 se puede observar:

- El recargo máximo ( $K_r = 47\%$ ) correspondería a un  $\cos \varphi = 0,5$  o inferior.
- No existe recargo ( $K_r = 0\%$ ) para un  $\cos \varphi = 0,9$ .
- El recargo se convierte en bonificación para  $\cos \varphi$  superiores a 0,92.
- La máxima bonificación ( $-4\%$ ) correspondería a un  $\cos \varphi = 1$ .

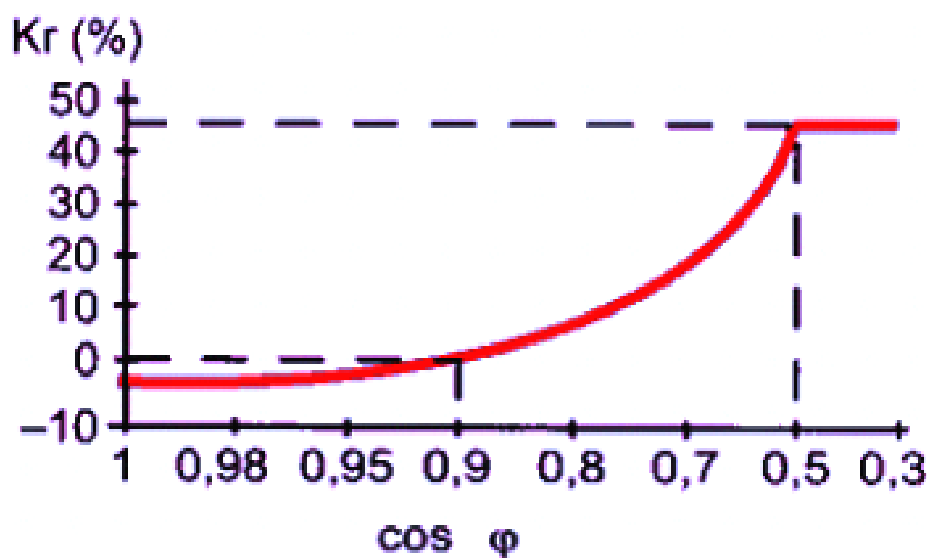


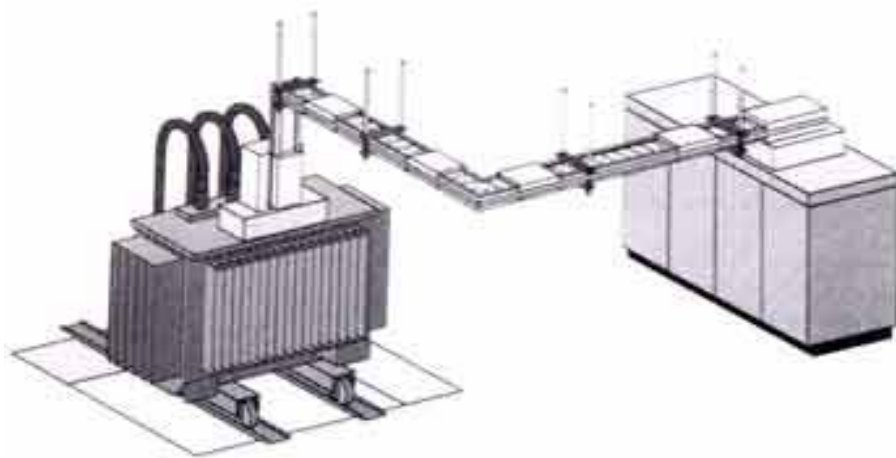
Fig. 2.2 Variación del recargo del recibo en función del  $\cos \varphi$

### 2.8 Reducción de la intensidad eficaz.

Un factor de potencia elevado optimiza los componentes de una instalación eléctrica mejorando su rendimiento eléctrico. La instalación de condensadores reduce el consumo de energía reactiva entre la fuente y los receptores. Los condensadores proporcionan la energía reactiva descargando a la instalación desde el punto de conexión de los condensadores aguas arriba. Como consecuencia es posible aumentar la potencia disponible en el secundario de un transformador MT/BT, instalando en la parte de baja un equipo de corrección del factor de potencia. La tabla 3.1 muestra el aumento de la potencia activa (Kw.) que puede suministrar un transformador corrigiendo hasta  $\cos \varphi = 1$ .

$\cos \varphi$ inicial	Aumento de potencia disponible
1	0.00%
0.98	2.00%
0.95	5.20%
0.9	11.10%
0.85	17.60%
0.8	25.00%
0.7	42.80%
0.65	53.80%
0.5	100.00%

**Tabla 2.1 Aumento de la potencia disponible en el secundario de un transformador en función del  $\cos \varphi$  de la carga.**



**Fig. 2.3 Muestra de la conexión de un banco de condensadores a la salida de un transformador de fuerza de un sistema de distribución.**

### **2.8.1 Reducción de la sección de los conductores.**

La instalación de un equipo de corrección del factor de potencia en una instalación permite reducir la sección de los conductores a nivel de proyecto, ya que para una misma potencia activa la intensidad resultante de la instalación compensada es menor. La tabla 3.2 muestra el coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del  $\cos \varphi$  de la instalación.

<b>cos <math>\varphi</math></b>	<b>factor multiplicador de la sección del cable</b>
1	1
0.80	1.25
0.60	1.67
0.40	2.50

**Tabla 2.2 Coeficiente multiplicador de la sección del conductor en función del cos  $\varphi$  de la instalación.**

### **2.8.2 Reducción de las pérdidas por efecto Joule.**

La instalación de condensadores permite la reducción de pérdidas por efecto Joule (calentamiento) en los conductores y transformadores. Estas pérdidas son contabilizadas como energía consumida (kW/h) en el contador. Dichas pérdidas son proporcionales a la intensidad elevada al cuadrado. Se puede determinar según la siguiente fórmula la disminución de pérdidas en función del cos  $\varphi$  de la instalación:

$$\frac{\text{Pérdidas finales}}{\text{Pérdidas iniciales}} \left( \frac{\cos \varphi \text{ inicial}}{\cos \varphi \text{ final}} \right)^2$$

### **2.8.3 Reducción de las caídas de tensión**

La instalación de condensadores permite la reducción de las caídas de tensión aguas arriba del punto de conexión del equipo de compensación.

$$\Delta V_1 = \frac{RP + XQ}{V} = \Delta V_A + \Delta V_R$$

Idealmente, el voltaje del suministro es una onda seno perfecta con un valor eficaz de 115V y una frecuencia firme de 60Hz; no debe haber ninguna fluctuación del voltaje, ni caídas repentinas de voltaje o interrupciones, ningún pico transitorio, sin importar el tipo de carga que sea conectada al sistema. En la práctica, sin embargo, el suministro de voltaje no estará ni cercano a este guión ideal. El Voltaje está sujeto a fluctuaciones que dependen de la impedancia del sistema y la cantidad de carga conectada. Conectar cargas grandes a menudo también causa caídas de voltaje que arriesgan la operación fiable de otros sistemas, por ejemplo, computadoras.

## **2.9 - Métodos de compensación.**

### **2.9.1 Método general**

A partir de los datos suministrados por los fabricantes de los diferentes receptores, tales como:

- Potencia activa.
- Índice de carga.
- $\cos \varphi$ .

Y conociendo el factor de simultaneidad de cada uno en la instalación, se pueden determinar los niveles de potencia activa y reactiva consumida por el total de la instalación.

### **2.9.2 Método simplificado.**

Conociendo los siguientes datos se pueden calcular de una manera simplificada las necesidades de compensación de una instalación:

- $\cos \varphi$  medio inicial.
- $\cos \varphi$  objetivo.
- Potencia activa media de la instalación.

Estos datos se pueden obtener:

- Por cálculo: como se ha citado en el método general.
- A través de una estimación según las potencias instaladas.

Con estos datos se puede proceder al cálculo por tabla.

### **2.9.3 Cálculo por tabla**

Ejemplo:

Cálculo de la potencia reactiva necesaria para compensar la instalación siguiente:

$P = 500 \text{ Kw.}$ ,

$\cos \varphi_{\text{inicial}} = 0,75$ ,

$\cos \varphi_{\text{deseado}} 0,98$ .

Consultando con la tabla se obtiene un factor = 0,679. Multiplicando este factor por la potencia activa de la instalación (500 Kw.) se obtiene la potencia reactiva a instalar:

$Q = 500 \times 0,679 = 340 \text{ Kva.}$

Cos j	0.9	0.92	0.94	0.96	0.98	1
0.4	1.805	1.861	1.924	1.998	2.085	2.288
0.45	1.681				1.784	1.988
0.5	1.248				1.529	1.732
0.55	1.035				1.316	1.519
0.6	0.849				1.131	1.334
0.65	0.685				0.966	1.169
0.7	0.536				0.811	1.020
0.75	0.398	0.453	0.519	0.591	0.679*	0.882
0.8	0.266	0.321	0.398	0.459	0.541	0.750
0.85	0.02	0.191	0.257	0.329	0.417	0.620
0.9		0.058	0.121	0.192	0.281	0.484

## 2.10 Tipos de sistemas a utilizar para la compensación.

Los sistemas a utilizar para la compensación del factor de potencia podrán ser alguno de los siguientes:

- Condensadores fijos: instalados por cada receptor o grupo de receptores que funcionen por medio de un solo interruptor, es decir, que funcionen simultáneamente.
- Batería de condensadores, con regulación automática, para la totalidad de la instalación. En este caso la instalación de compensación ha de estar dispuesta para que, de forma automática, asegure que la variación del factor de potencia no sea mayor de un +/- 10% del valor medio obtenido en un prolongado período de funcionamiento.
- Cuando existan necesidades de potencias mecánicas, de mediana o gran importancia, para mover servicios industriales de base, por Ej. Refrigeración; aire comprimido; etc., que deban operar durante la mayoría de las horas de demanda importante del usuario, se podrán utilizar además, motores sincrónicos con el fin de poder obtener una buena regulación en la compensación de energía reactiva.

### **2.11 Compensación de Energía Reactiva Mediante el uso de Condensadores.**

Cuando se instalen condensadores, en todos los casos, se deberán respetar las siguientes disposiciones generales:

a) Todo condensador que se instale para corregir el factor de potencia deberá cumplir con las normas IEC 831, IEC 871 o IEC 931, según sea la tensión del servicio a los que se le aplique el condensador, o el tipo de éste último.

b) La ubicación de condensadores deberá reunir las siguientes condiciones:

I) El lugar será seco, bien ventilado y con una temperatura ambiente máxima de 40 °C y alejado de zona de inflamables.

II) El condensador estará libre de efectos de conducción y/o radiación directa de calor de instalaciones o aparatos vecinos.

c) Cuando la caja exterior de los condensadores sea metálica, deberá ser adecuadamente puesta a tierra.

d) Cerca de todo condensador o batería de condensadores, según los casos, se colocará en lugar bien visible una leyenda indeleble indicando que antes de tocar un condensador desconectado hay que cortocircuitar y poner a Tierra sus terminales.

e) Todo condensador estará equipado con resistencias de descarga permanente conectadas que absorban la carga acumulada, de tal modo que, después de desconectar el condensador de la red, la tensión residual sea reducida por lo menos a 75 V en 3 minutos, para condensadores de hasta 660 V, y en menos de 10 minutos, para los condensadores de más de 660 V.

f) Todo el equipo que se utilice con un condensador, es decir conductores, barras, interruptores, fusibles, etc., estará dimensionado para admitir permanentemente, sin sobrecalentamiento, una corriente de magnitud por lo menos igual a 1,35 veces la corriente nominal del condensador.

## **2.12 Cómo determinar la cantidad de condensadores necesarios.**

Midiendo la energía activa y reactiva que consumen las instalaciones existentes, se puede calcular la potencia necesaria (KVAR) que deben tener los condensadores para lograr la compensación deseada. Sin embargo, es recomendable la instalación de registradores de potencia durante el tiempo necesario para cubrir (medir) por lo menos un ciclo completo de operación de la industria, incluyendo sus períodos de descanso.

Por lo general se recomienda realizar registros trifásicos donde se monitoree para cada fase y para el total de la planta: Potencia Activa (KW) y Reactiva (KVAR), Voltaje y Energía (KWH). Los valores de corriente, potencia aparente (KVA) y factor de potencia (FP) se calculan a partir de las lecturas anteriores, sin embargo, si el registrador dispone de la suficiente capacidad podrán ser leídos también.

Los intervalos de medición recomendados oscilan entre cada 5 y cada 15 minutos como máximo. Por supuesto, a menores intervalos de medición, tendremos mayor exactitud en cuanto a la curva real de la industria, sin embargo esto dependerá de la capacidad del registrador que se utilice y del tipo de empresa a registrar. Aquellas empresas donde sus ciclos de carga varían lentamente, podría extenderse aún más el intervalo de medición.

De esta forma se podrá obtener una curva de carga completa la cual mostrará la máxima capacidad posible de instalar sin el riesgo de caer en sobrecompensación reactiva.

También es importante, registrar con las mediciones, el grado de distorsión armónica existente; con el objetivo de evitar la posibilidad de resonancia entre estos y los bancos de condensadores a instalar.

### **2.13 Compensación automática de instalaciones.**

Compensar individualmente cada motor o transformador resulta la solución más recomendable a nivel técnico, pero no siempre la más económicamente viable. En el caso de instalaciones eléctricas con consumos variables, y distintos tipos de cargas, etc., la solución actualmente más utilizada es la de instalar una batería de condensadores automática.

Estos sistemas disponen de varios escalones capacitivos, conectados a través de contactares especiales para esta aplicación, los cuales son activados y desactivados según los comandos de un regulador de reactiva. Los reguladores de última generación disponen de microprocesador, el cual evalúa las necesidades de reactiva capacitiva de la instalación, analizan las distintas alternativas/combinaciones para la ejecución, y seleccionan aquella combinación que pone en funcionamiento los elementos hasta el momento menos utilizados, para evitar el desgaste desequilibrado de unos condensadores y otros.

Estos reguladores disponen además de control de THD y temperatura, mediante el cual desconectan de forma parcial o total los bloques capacitivos en caso de niveles peligrosos de armónicos o temperatura, evitando así el deterioro o destrucción de los condensadores.

En cuanto a la ejecución práctica del montaje, merece especial atención nuestro sistema modular KOMBICAP, mediante el cual Vd. podrá confeccionarse su propio sistema, montar y desmontar módulos de forma rápida y sencilla, así como tener el control sobre futuras ampliaciones o modificaciones del sistema.

#### **2.13.1- Esquema de principio de una batería automática.**

##### **Los elementos internos:**

Un equipo de compensación automático debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia de reactiva de la instalación para conseguir mantener  $\cos \varphi$  objetivo de la instalación.

➤ **Un equipo de compensación automático está constituido por 3 elementos principales:**

**El regulador:**

Cuya función es medir el  $\cos \varphi$  de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al  $\cos \varphi$  objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva. Además de esta función, los actuales reguladores Varlogic de Merlin Gerin incorporan funciones complementarias de ayuda al mantenimiento y la instalación.

**Los contactores:**

Son los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automático depende de las salidas que tenga el regulador.

Existen dos modelos de reguladores atendiendo al número de salidas: De 1 hasta 6 escalones y de 1 hasta 12.

**Los condensadores:**

Son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación. Normalmente la conexión interna de los mismos está hecha en triángulo.

**Los elementos externos.**

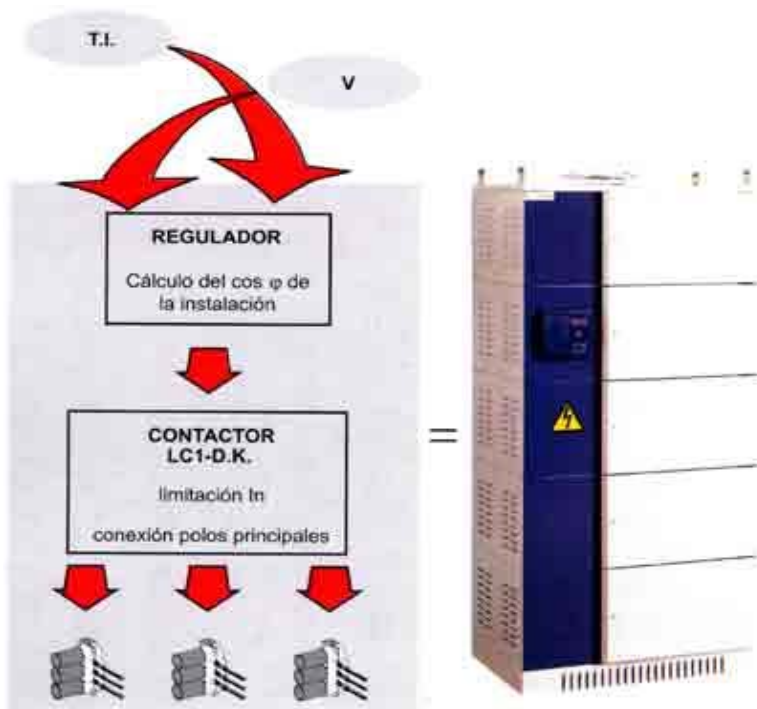
Para el funcionamiento de un equipo de compensación automático es necesaria la toma de datos de la instalación; son los elementos externos que le permiten actuar correctamente al equipo:

**La lectura de intensidad:**

Se debe conectar un transformador de intensidad que lea el consumo de la totalidad de la instalación.

### **La lectura de tensión:**

Normalmente se incorpora en la propia batería de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor. Esta información de la instalación (tensión e intensidad) le permite al regulador efectuar el cálculo del  $\cos \phi$  existente en la instalación en todo momento y le capacita para tomar la decisión de introducir o sacar escalones de potencia reactiva. También es necesaria la alimentación a 230 V para el circuito de mando de la batería. Las baterías incorporan unas bornas denominadas (a, b) para este efecto.



**Fig. 2.4 Esquema de principio de un equipo de compensación automático.**

### **2.13.2- Donde instalar los bancos de condensadores.**

Para la instalación de los capacitares deberán tomarse en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje.

Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta, por ejemplo, en un dispositivo principal de distribución o en una barra conductora de control de motores.

La corrección de grupo es necesaria cuando las cargas cambian radicalmente entre alimentadores y cuando los voltajes del motor son bajos, como por ejemplo, 230 V.

Cuando los flujos de potencia cambian frecuentemente entre diversos sitios de la planta y cargas individuales, se hace necesario efectuar la corrección primero en una parte de la planta, verificar las condiciones obtenidas y después compensar en la otra. Sin embargo, es más ventajoso usar un condensador de grupo ubicado lo más equidistante que se pueda de las cargas. Esto permite la desconexión de una parte de los capacitares de acuerdo a condiciones específicas de cargas variables.

Cuando la longitud de los alimentadores es considerable, se recomienda la instalación de capacitares individuales a los motores, por supuesto se necesitarán varios condensadores de diferentes capacidades, resultando esto en un costo mayor. Sin embargo deberá evaluarse el beneficio económico obtenido con la compensación individual. Considerando que el costo de los capacitares para bajos voltajes es más del doble que los de altos voltajes. Por esto, cuando el voltaje de los circuitos de motores es de 230 V, es más económico usar una instalación de grupo si es que ésta se puede efectuar en el primario a 2.400 ó 4.160 V.

Debemos también considerar que, cuando los capacitares se instalan antes del banco principal de transformadores, éstos no se benefician y no se alivia su carga en KVA. Esta es una buena razón para usar capacitares de 230 V a pesar de su alto costo.

### ***Correcciones aisladas.***

La corrección aislada del factor de potencia se debe hacer conectando los condensadores tan cerca como sea posible de la carga o de las terminales de los alimentadores. Debe recordar que la corrección se lleva a cabo sólo del punto considerado a la fuente de energía y no en dirección opuesta.

Los condensadores instalados cerca de las cargas pueden dejar de operar automáticamente cuando las cargas cesan, incrementan el voltaje y por ende el rendimiento del motor.

### 2.14 Existen diferentes formas de compensación.

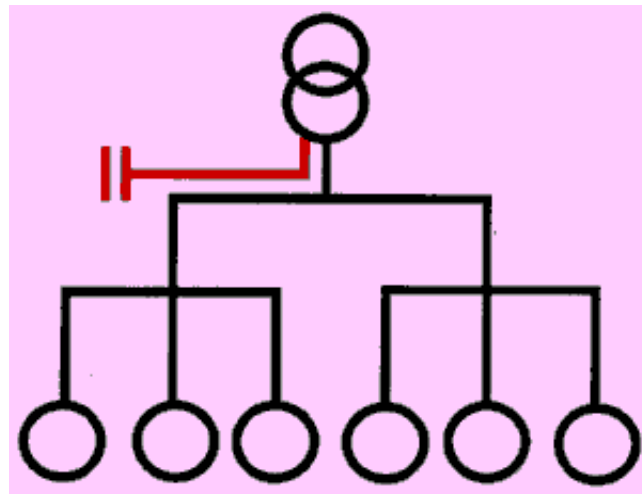
### 2.14.1 Compensación global.

## Ventajas

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Ajusta la potencia aparente (S en Kva.) a la necesidad real de la instalación.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en Kw.).

**Observaciones.**

- La corriente reactiva ( $I_r$ ) está presente en la instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas.



**Fig. 2.5 compensación global.**

### 2.14.2 Compensación parcial.

## Ventajas

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se transporta entre los niveles 1 y 2.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en Kw.).

### Observaciones

- La corriente reactiva ( $I_r$ ) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen en los bornes de cada receptor de tipo inductivo posición n.º 3.

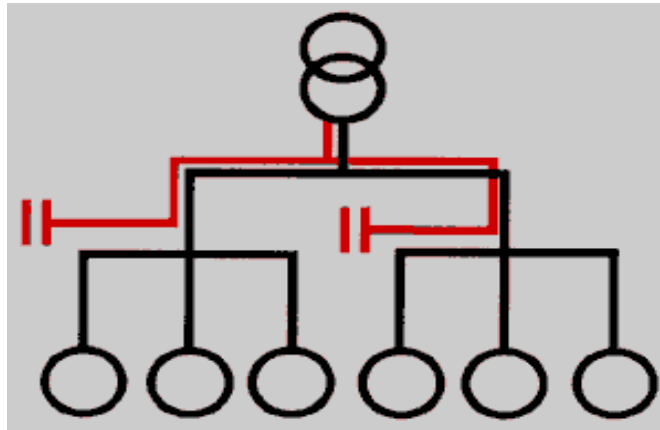


Fig. 2.6 Compensación parcial.

### 2.14.3 Compensación individual.

#### Ventajas

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva  $I_r$  se abastece en el mismo lugar de su consumo.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en Kw.).

#### Observaciones.

La corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación.

- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente.

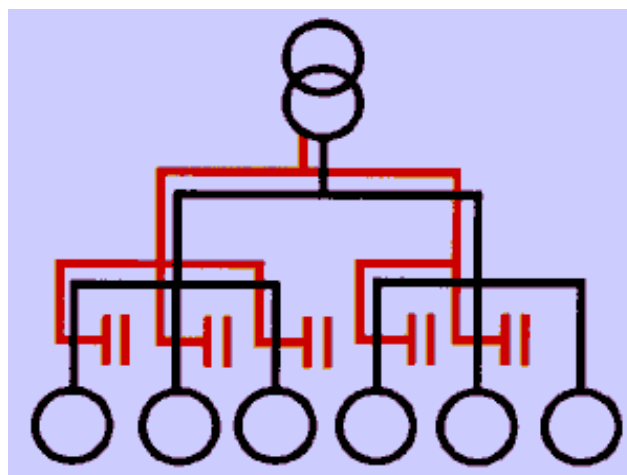


Fig. 2.7 Compensación individual

### **2.17 Selección del método de optimización para la compensación de reactivo.**

Según puede observarse la tarea planteada es de carácter multicriterial (lo que obliga a la solución de múltiples tareas monocriteriales, para diferentes valores de pesos), no lineal, discreta y de gran dimensión (la que puede alcanzar muchas posibles soluciones, en dependencia de la configuración de la red). Entonces se está en presencia de un procedimiento de gran complejidad, el que puede conducir a la existencia de muchas áreas de mínimos locales de la función objetivo. Para la solución de tareas de semejante complejidad se utilizan en el momento actual técnicas evolutivas heurísticas.

Entre las características que distinguen a los algoritmos evolutivos de los métodos convencionales de optimización, se encuentran las siguientes:

1. Los algoritmos evolutivos buscan una población de puntos sobre el espacio de solución factible, y no únicamente un punto solución. La población puede moverse por encima de picos y atravesar valles en la superficie; esta situación le permite rastrear el punto óptimo global. Como el cálculo de cada individuo de la población es independiente de los demás, los algoritmos evolutivos poseen la habilidad inherente del procesamiento en paralelo.
2. Los algoritmos evolutivos utilizan a la función de aptitud como información directamente asociada con la búsqueda, y no hacen uso de derivadas o gradientes. Esta característica permite que los algoritmos evolutivos puedan tratar con funciones no lineales, discontinuas y no diferenciables, tal y como se representa la realidad en muchos problemas de optimización.
3. Los algoritmos evolutivos usan reglas de transición probabilísticas, lo que favorece la obtención de la solución global de funciones extremadamente no lineales.

Entre los métodos heurísticos más utilizados para la compensación de la potencia reactiva se encuentran los Algoritmos Genéticos (AG), ver Holland en 1976 [21], Aydogan en 2005 [2], Coello en 2004 [9]. El procedimiento general de los Algoritmos Genéticos es el siguiente.

1. Búsqueda de una población inicial que cumpla con las restricciones del problema (individuos admisibles) y evaluación de la función objetivo en cada individuo de esta población.

2. Generación de nuevos individuos y evaluación en los mismos de la Función Objetivo y de las restricciones. Se sustituyen los “peores” individuos de la población actual por los “mejores” entre los nuevos individuos generados, obteniéndose una población mejorada.
3. Repetir el paso 2 hasta encontrar una población final.

Debe aclararse que en los Algoritmos Genéticos no se obtiene una solución óptima, sino que se busca un conjunto de soluciones suficientemente próximas a la óptima que satisfacen la exigencia técnica económica del evaluador.

Sin embargo, con frecuencia surgen deficiencias en la aplicación de los Algoritmos Genéticos a los problemas de optimización, ya que en dependencia de la naturaleza de la función objetivo pueden ser generados códigos de solución muy malos, combinando bloques de códigos buenos.

Con el propósito de superar las deficiencias señaladas se han desarrollado métodos heurísticos que manteniendo algunas características comunes con los Algoritmos Genéticos y evitan sus deficiencias, ver Arzola, Simeón, Maceo en 2003 [3]. Es por ello que en este trabajo se adoptó como estrategia de optimización el uso del Método de Integración de Variables de Arzola, 2000 [4] y Cordobés 1999 [5].

Es necesario aclarar que el método de integración de variables por sus particularidades ha sido aplicado con éxito en problemas similares donde el empleo de códigos variables para describir las soluciones y los operadores representa una simplificación en el proceso de búsqueda de las soluciones eficientes y el criterio de parada estará en función de las características de cada aplicación pudiéndose utilizar criterios mixtos.

#### **2.17.1 Método de integración de variables.**

A continuación se describe el Método de Integración de Variables, que constituye una generalización de los Algoritmos Genéticos y aporta toda una familia de algoritmos heurísticos de carácter evolutivo.

El método que se presenta basa su funcionamiento en utilizar no necesariamente un código variable para describir las posibles soluciones, sino cualquier cantidad de ellos y cualquier conjunto de operadores para actualizar los miembros de la población.

La característica principal del algoritmo, es la creación de la población, la que contiene el conjunto de soluciones factibles. Los componentes de la población reciben el nombre de individuos.

La estructura de la población es determinada por el conjunto de variables de decisión que intervienen en el proceso de optimización. Con el fin de tener las posibles soluciones, existe un mecanismo de codificación, que permite asignar solo un valor a cada individuo de la población, el cual es representativo de su calidad como solución.

Es natural que un individuo con mayor actitud, represente una mejor solución a un problema, y que en condiciones específicas de éste pueda representar una solución correcta o inclusive óptima.

A partir de una generación inicial de soluciones candidatas para el proceso, que es iterativo, se producen nuevas generaciones de individuos, cada vez con mejores características cercanas a la solución del problema planteado.

La decisión de cuándo detener al algoritmo se realiza por diferentes vías, por lo general se puede realizar, fijando un número de iteraciones, cuando se ha calculado un por ciento determinado de toda la población a evaluar o si no existe una mejora significativa de la aptitud de la población en el proceso de cálculo y después de un cierto número de iteraciones.

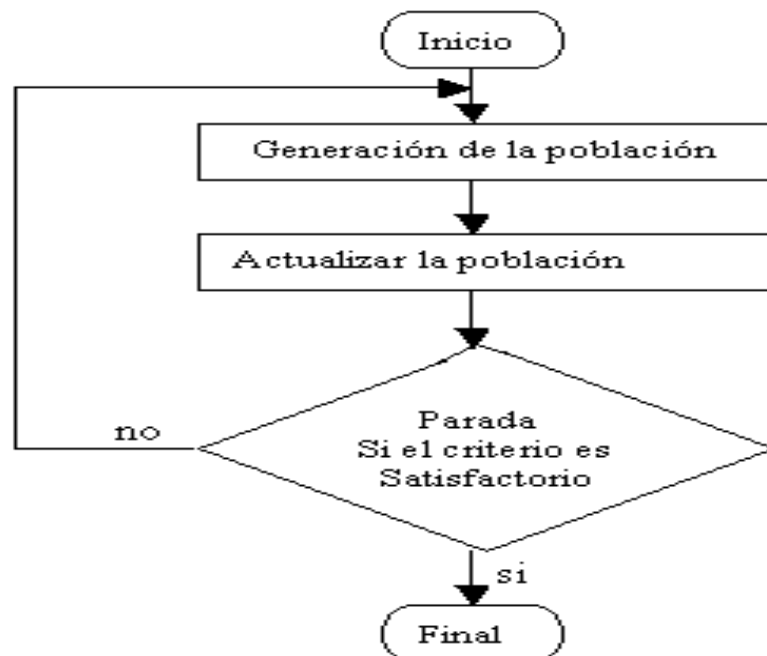
El algoritmo general del Método Integración de Variables aparece en la Figura 2.3.

Los rasgos generales de este método son los siguientes:

- ✓ Las posibles variantes de solución son codificadas en uno o más códigos variables.
- ✓ Según un procedimiento característico para cada aplicación particular del método, se genera un juego de  $n$  soluciones próximas al óptimo. En particular, como procedimientos, pueden usarse diferentes métodos iterativos de la programación lineal y discreta, aplicados a los códigos de soluciones con entornos de búsqueda seleccionados al azar, determinísticamente o de forma combinada. Cada procedimiento particular de generación de poblaciones se corresponde con una variable concreta de aplicación del método.

✓ Aunque la selección del criterio de parada obedece en el caso general, a las particularidades de cada aplicación concreta, predominan los siguientes aspectos:

1. Condición de lograr una cantidad dada de iteraciones sin modificaciones de la población.
2. Diferencia entre la peor y la mejor solución de la población inferior a un valor preestablecido.
3. Generación de un número predeterminado de opciones de soluciones.



**Figura 2.3 Algoritmo general del Método de Integración de variables.**

Los principales procesos del Método de Integración de Variables se definen como:

1. Un sistema de codificación, para la representación de las posibles soluciones del problema estudiado. Como se verá es una de las tareas más importantes y complejas del método.
2. Un método para la creación de la población inicial.
3. Una función de calidad (fitness) que permita ordenar los códigos de acuerdo a los valores de la función objetivo.
4. Operadores que permiten alterar la composición de los códigos de las soluciones en las poblaciones sucesivas.

5. Valores de los parámetros requeridos por el algoritmo utilizado (tamaño de la población, probabilidades asociadas con la aplicación de ciertos operadores, etc.)

### **2.17.2 Búsqueda Aleatoria Condicionada (BAC) propuesto para la optimización.**

El problema a resolver se puede enunciar de la siguiente forma:

$$\text{Minimizar la función objetivo } Z = f(X), \quad X \in D \text{ con las restricciones } g_i(X) \leq 0, \\ i = 1, 2, \dots, n$$

Donde D es el conjunto finito de las posibles T configuraciones del sistema eléctrico que se estudia, considerándose éste un ejemplo del llamado Problema General de Optimización Discreta. Como se ha definido D es finito entonces siempre se podrá aplicar el Método de Búsqueda Exhaustiva para encontrar las mejores configuraciones X, aunque si T no es pequeño entonces este método no proporciona la solución buscada en un límite de tiempo adecuado. Sin embargo, se puede asegurar que la solución del problema existe y que de lo que se trata es: proponer un método de optimización que nos proporcione una solución adecuada en un período de tiempo conveniente. El método general que se propone se denomina **Búsqueda Aleatoria Condicionada** (BAC) y responde a las particularidades de la función objetivo y las restricciones del problema. El método BAC sigue las ideas básicas del Método de Integración de Variables descrito en la Figura 2.3 y en particular reúne características del Método de Búsqueda Aleatoria del Extremo de una Función de un Código Variable planteado por Arzola [4]. Este método está compuesto por una serie de algoritmos con los cuales se realiza la búsqueda de la población inicial, el mejoramiento de la población inicial y la reducción selectiva de la población.

## *Conclusiones*

1. Una reducción adecuada de la energía reactiva significa una disminución paulatina de las pérdidas energéticas.
2. La existencia de un factor de potencia elevado optimiza los componentes de una instalación eléctrica logrando un mejor rendimiento y estabilidad en las principales variables eléctricas del sistema.
3. La correcta instalación de los bancos de condensadores es de vital importancia ya que estos deben de estar acordes con las características del circuito eléctrico y su naturaleza.
4. El carácter de la tarea formulada para la compensación de potencia reactiva, permite la utilización de procedimientos para la generación de soluciones basados en la evolución de códigos, es decir, de alguno de los algoritmos propios del Método de Integración de Variables.
5. El empleo del método de Búsqueda Aleatoria Condicionada permite generar poblaciones de solución al problema de optimización asociado de forma relativamente rápida y efectiva, lo que permite evaluar diferentes opciones de conexión de los elementos correctores, para que el investigador elija la más adecuada de acuerdo a la situación estudiada.

## **CAPÍTULO III.**

### **Optimización de potencia reactiva bajo criterios múltiples en el Hospital “Guillermo L Fernández Hernández Baquero”**

---

#### **3.1. Introducción**

La energía reactiva generalmente está asociada a los campos magnéticos internos de los motores y transformadores, lo que no puede ser suprimida. Por otro lado, su circulación por las líneas y transformadores de sistemas eléctricos de distribución produce pérdidas de energía, siendo necesaria su compensación desde un punto de vista técnico – económico.

Los bancos de capacitares se emplean frecuentemente en los sistemas eléctricos de potencia para la compensación de la demanda de potencia reactiva de las cargas y el mejoramiento del perfil de voltaje del sistema. Si los bancos de capacitores no son correctamente ubicados y seleccionados en los nodos del circuito no solamente pueden incrementarse las pérdidas, sino también se pueden amplificar los problemas de armónicos en caso de existencia de los mismos std IEEE 399-1997 [23].

El objetivo del presente capítulo, es la optimización de la compensación de la potencia reactiva en el Hospital “Guillermo L Fernández Hernández Baquero”, con la implementación de un algoritmo multiobjetivo.

Para la modelación de la red de suministro eléctrico de Hospital Guillermo L. Fernández Hernández Baquero, se empleó el programa DYSCSE que permitió la simulación para diferentes regímenes de carga (mínimo, promedio y máxima) apoyados en las mediciones y gráficos de cargas mostrados en los anexos 1.1 a 1.18. Atendiendo a ello, el análisis se parte de los resultados obtenidos en la simulación considerando el régimen promedio como las condiciones iniciales (CI) y punto de partida para la obtención de los parámetros que van a caracterizar a cada nodo del sistema. En la tabla 3.1 se muestran la carga instalada y calculada en cada nodo del sistema.

**Tabla 3.1 Parámetros de la condición inicial.**

Nodo	P(MW)	Q(MVAr)	S(MVA)	Un(kV)	%Caída U	Ang.Volt.	cos $\phi$ .
2	0	0	0.17	13.8	0	0	0.852
3	-0.147	-0.088	0	0.477	0.547	-0.008	0.854
4	-0.013	-0.01	0.016	0.215	2.096	-0.025	0.792
5	-0.001	-0.0005	0.0013	0.218	0.777	-0.012	0.923
6	-0.0003	-0.0005	0.0006	0.218	0.615	-0.008	0.548
7	-0.003	-0.0027	0.0042	0.218	0.874	-0.011	0.773
8	-0.008	-0.0057	0.0095	0.217	1.28	-0.016	0.8
9	-0.016	-0.0089	0.018	0.216	1.981	-0.029	0.873
10	-0.0096	-0.0048	0.01	0.214	2.374	-0.038	0.894
11	-0.007	-0.0034	0.0075	0.216	1.841	-0.029	0.891
12	-0.001	-0.00062	0.001	0.218	0.788	-0.01	0.786
13	-0.045	-0.018	0.048	0.213	2.86	-0.053	0.921
14	-0.0098	-0.006	0.011	0.218	0.823	-0.011	0.852
15	-0.025	-0.016	0.029	0.214	2.426	-0.032	0.842
16	-0.001	-0.0009	0.0015	0.218	1.088	-0.014	0.816
17	-0.003	-0.0017	0.0031	0.217	1.173	-0.016	0.836
18	-0.003	-0.0029	0.0045	0.217	1.166	-0.014	0.77
19	-0.001	-0.00061	0.001	0.218	0.786	-0.011	0.812

En la tabla 3.1 el factor de potencia en los nodos de carga se encuentra entre los valores 0.50 y 0.92, mientras que en el nodo principal se tiene 0.85, esto se logra a través de la variación del régimen del sistema. Para estas condiciones las pérdidas anuales de energía son de 44180.907 kWh.

En la subestaciones, con vista a disminuir las pérdidas y mejorar el factor de potencia, se prevé la instalación de capacitores en aquellos lugares donde se justifique su empleo. Para este propósito con ayuda de las mediciones y gráficos de cargas y las simulaciones realizadas en el DYCSE, preparándose dos configuraciones que en lo adelante recibirán el nombre de variantes bases de la cual se parte para iniciar el proceso de optimización.

### **Variante # 1**

Los nodos candidatos para la ubicación de los bancos de capacitores aparecen en la tabla 3.2. Para la ubicación de los mismos se hizo necesaria la realización de un análisis de sensibilidad en los nodos de carga de mayor importancia en la mejora del  $\cos \phi$  y la reducción de las pérdidas, es por ello que se considera una corrección del factor de potencia en los nodos desde valores menores o iguales a 0.78 hasta (0.81 - 0.90) indistintamente. En el caso de los capacitores atendiendo a las mediciones y las corridas de flujos realizadas se determina su potencia  $Q_c$  a partir de la mejora admisible por el nodo del  $\cos \phi$  a valores recomendados por las normas. Es necesario aclarar que esta selección tiene carácter preliminar y considera la viabilidad económica como punto de partida ya que la ubicación definitiva se logra después de efectuado el proceso de optimización.

Tabla 3.2 Nodos candidatos para instalación de bancos de capacitores.

nodo	Valor del Capacitor, ( $Q_c$ ) kVAr
3	34
4	1.78
6	0.33
7	1.2
8	1.1
12	0.2
15	4.8
16	0.27
17	0.44
18	0.92

En la tabla 3.2 aparece el valor preliminar de la ubicación de los bancos de capacitores y en la tabla 3.3 se muestra los valores obtenidos en la simulación. En este caso las pérdidas anuales de energía se encuentran en el orden de 3112,157 kWh, representando un 7 % en comparación con las pérdidas iniciales,

siendo éste el valor máximo posible a obtener por concepto de reducción de pérdidas en el sistema. Demostrándose un mejoramiento paulatino en cuanto a este aspecto.

**Tabla 3.3 Valores obtenidos para la variante base.**

Nodo	P (MW)	Q (MVar)	S(MVA)	Un(kV)	% Caída U	Ang.Volt.	cos $\phi$ .
2	0.0000	0.0000	0.1536	13.8000	0.0000	0.0000	0.96
3	-0.1470	-0.0429	0.0345	0.4785	0.3115	-0.0083	0.96
4	-0.0130	-0.0082	0.0154	0.2165	1.5807	-0.0253	0.85
5	-0.0013	-0.0005	0.0014	0.2189	0.5131	-0.0123	0.92
6	-0.0004	-0.0003	0.0005	0.2193	0.3312	-0.0085	0.82
7	-0.0033	-0.0015	0.0036	0.2189	0.4845	-0.0115	0.91
8	-0.0076	-0.0048	0.0090	0.2180	0.9113	-0.0164	0.85
9	-0.0160	-0.0089	0.0183	0.2162	1.7138	-0.0294	0.87
10	-0.0096	-0.0048	0.0107	0.2154	2.1055	-0.0378	0.89
11	-0.0067	-0.0034	0.0075	0.2166	1.5633	-0.0288	0.89
12	-0.0008	-0.0004	0.0009	0.2190	0.4633	-0.0107	0.88
13	-0.0450	-0.0180	0.0485	0.2143	2.5900	-0.0532	0.92
14	-0.0098	-0.0060	0.0115	0.2188	0.5590	-0.0117	0.85
15	-0.0250	-0.0112	0.0274	0.2163	1.6629	-0.0329	0.91
16	-0.0013	-0.0006	0.0015	0.2185	0.6854	-0.0146	0.90
17	-0.0026	-0.0013	0.0029	0.2183	0.7695	-0.0162	0.90
18	-0.0035	-0.0020	0.0040	0.2184	0.7299	-0.0145	0.87
19	-0.0009	-0.0006	0.0010	0.2189	0.5223	-0.0108	0.81

### **Variante # 2**

En esta variante el nodo principal es el candidato para la instalación del banco de capacitores logrando de forma global la mejora del cos  $\phi$  y la reducción de las pérdidas, considerando una corrección de factor de potencia desde 0.85 a 0.96.

**Tabla 3.4** Nodo candidato para instalación del banco de capacitores.

nodo	Valor del Capacitor, ( $Q_c$ ) kVAr
3	45

En la tabla 3.4 aparece el valor preliminar de la ubicación del banco de capacitores y en la tabla 3.5 se muestra los valores obtenidos en la simulación. En este caso las pérdidas anuales de energía se encuentran en el orden de 3061.3237 kWh, representando un 6.95 % en comparación con las pérdidas iniciales, siendo éste el valor máximo posible a obtener por concepto de reducción de pérdidas en el sistema. Demostrándose un mejoramiento paulatino en cuanto a este aspecto.

**Tabla 3.5 Valores obtenidos en la simulación variante # 2.**

Nodo	P (Kw)	Q (kVAr)	S(kVA)	Un(kV)	% Caída U	Ang.Volt.	cos $\phi$ .
2	0	0	0.15356	13.8	0	0	0.958
3	-0.14704	-0.04261	0.04543	0.47851	0.31009	-0.00828	0.96
4	-0.013	-0.01	0.0164	0.21598	1.82699	-0.02518	0.793
5	-0.00125	-0.00051	0.00135	0.21887	0.51172	-0.01235	0.926
6	-0.00038	-0.00024	0.00045	0.21928	0.32765	-0.00852	0.543
7	-0.0033	-0.0027	0.00426	0.21867	0.60559	-0.0114	0.774
8	-0.0076	-0.0057	0.0095	0.21777	1.01335	-0.01635	0.8
9	-0.016	-0.0089	0.01831	0.21623	1.71232	-0.0294	0.874
10	-0.0096	-0.0048	0.01073	0.21537	2.10409	-0.03783	0.894
11	-0.0067	-0.0034	0.00751	0.21656	1.56182	-0.02878	0.892
12	-0.00079	-0.00062	0.001	0.21885	0.52262	-0.01062	0.787
13	-0.045	-0.018	0.04847	0.21431	2.58856	-0.05317	0.928
14	-0.0098	-0.006	0.01149	0.21877	0.55754	-0.01173	0.853
15	-0.025	-0.016	0.02968	0.21526	2.15599	-0.03266	0.842
16	-0.0013	-0.00092	0.00159	0.21819	0.82215	-0.0145	0.816
17	-0.0026	-0.0017	0.00311	0.218	0.90731	-0.01609	0.837
18	-0.0035	-0.0029	0.00455	0.21802	0.8999	-0.01443	0.77
19	-0.00085	-0.00061	0.00105	0.21885	0.52089	-0.01081	0.812

### 3.2 Compensación de la potencia reactiva con el empleo de técnicas de optimización multiobjetivo.

Partiendo de los resultados obtenidos en las variantes tomadas como base, a continuación se darán las consideraciones tenidas en cuenta para la aplicación de los algoritmos propuestos con vista de seleccionar la solución eficiente u óptima.

Para la selección de los valores deseados en el caso que la experiencia del evaluador resulte insuficiente para establecer estos valores el algoritmo utilizado posibilita generar valores ideales por los indicadores que se requieran durante el proceso de búsqueda de las soluciones eficientes (ver Arzola [3] y [4]).

La selección de estos valores deseados en la función objetivo, se realiza de forma diferenciada para cada indicador en dependencia del tipo de nodo, su ubicación e importancia en el sistema, costos de implementación y el peso definido para el indicador en la función objetivo.

Selección de los valores deseados en los indicadores que intervienen en el proceso de optimización:

1. El factor de potencia: estará en correspondencia con el tipo de nodo, en el nodo de entrada se consideró un valor igual o superior a 0.92 en dependencia de los niveles de pérdidas a reducir y el costo de solución.
2. La tensión: se puede asumir como valor deseado, el valor nominal del nodo.
3. Las pérdidas activas: Este valor debe corresponderse con un valor lógico en dependencia de las pérdidas obtenidas antes de la optimización y los costos del kVAr.
4. Variable económica (a través del VAN), en este caso se tiene en consideración los valores obtenidos en la variante base.

Para encontrar las soluciones que garanticen una mejora en las condiciones de explotación de la red durante el proceso de optimización, se procede a la implementación de los algoritmos propuestos.

El proceso de optimización comienza con la búsqueda de la población inicial con ayuda del algoritmo de Búsqueda Aleatoria Condicionada (BAC) para las condiciones impuestas en las variantes consideradas como base. En este caso se tienen, en las variables de decisión (que intervienen durante el proceso de optimización) correspondientes a un total de 17 transformadores y 10 bancos de capacitores para la variante #1 y un banco de capacitores para la variante # 2 respectivamente. En los capacitores se adopta la variabilidad de la potencia en un  $\pm 10\%$  de su potencia nominal para un total de tres pasos de variaciones, además, de su desconexión. Así en el sistema analizado se cuenta con un total de 1048576 posibles configuraciones. Como la búsqueda de la población inicial es aleatoria y el espacio de búsqueda grande, entonces se subdivide el intervalo de todas las posibles soluciones en 200 subintervalos, permitiendo que se escojan miembros para la población inicial en cada uno de ellos, (ver por ejemplo la figura 3.1).

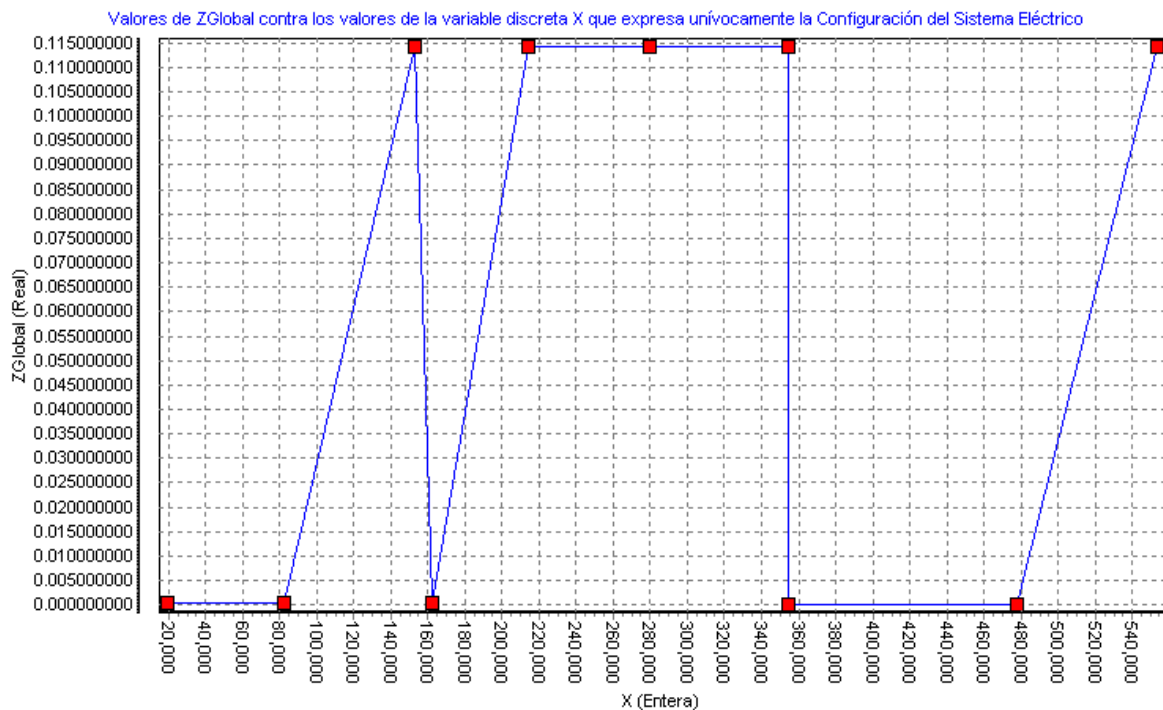


Figura 3.1 Gráfica de ubicación de la población inicial en todo el intervalo de soluciones.

En la figura 3.1 cada punto corresponde a una solución, donde entrarán entre las mejores, aquellas que tengan el menor valor en la función objetivo (Z) en este caso se corresponden con los valores cercanos a 0.002.

Una vez obtenida la población inicial se inicia el proceso de mejoramiento de la misma hasta lograr la parada del algoritmo, la que puede estar asociada al valor absoluto de la diferencia de una solución calculada  $Z_{xp}$  y la nueva encontrada  $Z_{xh}$  sea inferior a un  $\epsilon$  ( $\epsilon$  es un valor positivo prefijado) o esta permanezca constante.

Los criterios de calidad en los indicadores para la mejora de las soluciones tomados en consideración aparecen a continuación.

- Factor de potencia en el nodo principal  $\geq 0.92$ .
- Reducción de las pérdidas de la variante base en un valor  $\geq 20\%$ .
- Un criterio que deben cumplir las soluciones es, que el VAN debe ser mayor que la media aritmética entre el valor obtenido en la variante base.
- La TIR de las mejores soluciones debe ser al menos dos veces la tasa de interés.

Atendiendo al resultado obtenido en la optimización y los criterios de calidad establecido, se selecciona la que tiene un mejor desempeño como solución óptima. A continuación en la tabla 3.6 se muestra la potencia de los capacitores en kVAr para la variante # 1.

**Tabla 3.6 Capacidad de los BC seleccionados en cada nodo.**

nodo	Valor del Capacitor, ( $Q_c$ ) kVAr
3	35
4	2
6	1
7	2
8	2
12	1
15	5
16	1
17	1
18	1

**Tabla 3.7 Valores obtenido en la solución óptima para la variante # 1.**

Nodo	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	Un(kV)	% Caída U	Ang.Volt.	cos $\phi$ .
2	0	0	0.1561	13.8	0	0	0.94
3	-0.1470	-0.0507	0.0345	0.4783	0.3566	-0.0083	0.95
4	-0.0130	-0.0082	0.0154	0.2164	1.6264	-0.0253	0.85
5	-0.0013	-0.0005	0.0014	0.2188	0.5583	-0.0123	0.93
6	-0.0004	-0.0003	0.0005	0.2192	0.3763	-0.0085	0.82
7	-0.0033	-0.0027	0.0043	0.2186	0.6523	-0.0114	0.91
8	-0.0076	-0.0057	0.0095	0.2177	1.0602	-0.0163	0.85
9	-0.0160	-0.0089	0.0183	0.2161	1.7595	-0.0294	0.87
10	-0.0096	-0.0048	0.0107	0.2153	2.1515	-0.0378	0.89
11	-0.0067	-0.0034	0.0075	0.2165	1.6090	-0.0288	0.89
12	-0.0008	-0.0004	0.0009	0.2189	0.5085	-0.0106	0.88
13	-0.0450	-0.0180	0.0485	0.2142	2.6363	-0.0532	0.93
14	-0.0098	-0.0060	0.0115	0.2187	0.6042	-0.0117	0.85
15	-0.0250	-0.0160	0.0297	0.2152	2.2034	-0.0326	0.84
16	-0.0013	-0.0009	0.0016	0.2181	0.8689	-0.0145	0.82
17	-0.0026	-0.0017	0.0031	0.2179	0.9541	-0.0161	0.84
18	-0.0035	-0.0020	0.0040	0.2183	0.7752	-0.0145	0.87
19	-0.0009	-0.0006	0.0010	0.2188	0.5675	-0.0108	0.81

**Tabla 3.8 Comparación entre de las pérdidas antes y después de la compensación (Variante # 1).**

Parámetros	Antes	Después
Pérdidas de energía anual en kWh.	44180.907	3112.157
\$ Costo Anual de pérdidas.	2650.85	186.794
\$ Ahorro en pérdidas.	-	2464.056

Si se compara los valores obtenidos antes y después de la compensación para los indicadores analizados se puede observar que existe una mejora significativa en cuanto a los indicadores de explotación de la red, logrando una reducción en las pérdidas superiores a un 90 % de las posibles a reducir.

**Tabla 3.9 Ahorro anual de pérdidas antes y después de la optimización para el conjunto de soluciones (Variante # 1).**

Parámetros	Antes	Soluciones eficientes después de la optimización.		
		1	2	3
Pérdidas de energía anual en kWh.	44180.9	3093.6	3086.45	3086.47
\$ Costo Anual de pérdidas.	2650.85	185.62	185.19	185.18
\$ Ahorro en pérdidas.	-	2465.23	2465.66	2465.67

El ahorro de pérdidas mostrado en la tabla 3.9 son mayores que las obtenidas en las soluciones correspondientes antes de la optimización, lo que pone de manifiesto, que ha ocurrido un proceso de mejora de este indicador entre un 6.7 y un 7 % con respecto a las pérdidas antes de efectuado el proceso de optimización. (Variante # 1)

**Tabla 3.10 Comparación entre de las pérdidas antes y después de la compensación (Variante # 2).**

Parámetros	Antes	Después
Pérdidas de energía anual en kWh.	44180.907	3061.236
\$ Costo Anual de pérdidas.	2650.85	183.674
\$ Ahorro en pérdidas.	-	2467.176

### 3.3 Valoración económica.

A continuación se presenta un estudio del impacto que produce la compensación de la potencia reactiva en los sistemas eléctricos, para ello se han cuantificado las pérdidas actuales que se tienen en el sistema, el costo que representa la implementación de las inversiones necesarias, el valor del Valor Actual Neto, la Tasa de Rendimiento Interno y el tiempo de recuperación para cada proyecto analizado.

Los indicadores dinámicos para la evaluación de las inversiones, parten del desarrollo de un modelo, en el que se consideran las entradas (ingresos) y las salidas (gastos) de efectivo a causa de realizar el proyecto, calculando el flujo resultante en varios años.

$$VAN = \sum_{i=0}^{i=n} FF_i \times \frac{1}{(1+d)^i}$$

Donde:  $FF_i$  – Flujo de fondos en el periodo  $i$ .

$d$  – Tasa de descuento.

$i$  – período a descontar

El Valor Actualizado Neto es el resultado de sumar todos los años del proyecto para obtener cual es el dinero que se tendrá al término de la vida útil del proyecto. Esto resultaría una suma algebraica, teniendo en cuenta que el dinero pierde valor en el tiempo, y cada año se afecta por un factor decreciente, que depende de la tasa de actualización que se estime. Esta tasa ( $d$ ) con frecuencia se toma entre un 10 a 15 %. La tasa de descuento tomada en el trabajo es de 13 %, para un período de 8 años y un 10 % de interés.

Los gastos indirectos de producción son aquellos que no pueden identificarse con una producción o servicio específico dentro de ellos encontramos: Reposición de herramientas y utensilios, gastos generales y de administración, producción de las actividades económicas y de aseguramiento, así como gastos de materiales, combustible, energía, transporte, depreciación y mantenimiento de equipos. De forma general estos representan el 12.4% de los gastos directos según el manual del PRECONS II 2006 [30]. El costo de los capacitores se considera según el manual de la General Electric, 2007 [8] entre 11.340 y 50.00 \$ /kVAr instalado.

**Tabla 3.11 Indicadores económicos en la solución considerada como óptima (Variante # 1).**

Parámetros	Solución óptima
\$ Costo total Qc	1611.55
\$ Accesorios	950.28
\$ Gastos indirectos	317.66
\$ VAN	6765.63
TIR , %	65.2
Tiempo de recuperación, Años.	1.65

**Tabla 3.12 Indicadores económicos para el conjunto de soluciones (Variante # 1).**

Parámetros	Soluciones		
	1	2	3
\$ Costo total Qc	1679.4	1679.38	1825.69
\$ Accesorios	950.28	950.28	950.28
\$ Gastos indirectos	326.08	326.07	344.22
\$ VAN	6664.75	6609.27	6575.91
TIR , %	64.65	63.82	59.07
Tiempo de recuperación, Años	1.69	1.71	1.85

En sentido general se ha podido comprobar que es posible encontrar soluciones eficientes en todo el intervalo de existencia del óptimo. De los valores obtenidos en los indicadores de eficiencia en la población inicial y los valores en la solución considerada como óptima y las demás soluciones eficientes, se pudo comprobar que durante el proceso de búsqueda, existe una mejora en cuanto a la reducción de las pérdidas de energía y la variación de la tensión en los nodos del sistema.

De los indicadores económicos de la tabla 3.11 se tiene, que esta solución logra una mayor efectividad con un valor de 65.20 % de TIR y un periodo de recuperación de 1.65 años. Sin embargo todas las soluciones consideradas como eficientes de la tabla 3.12 son elegibles ya que el tiempo de recuperación de la inversión oscila entre 1.69 y 1.85 años siendo viable para este tipo de empresa.

**Tabla 3.13 Indicadores económicos en la solución considerada como óptima (Variante # 2).**

Parámetros	Solución óptima
\$ Costo total Qc	1771.89
\$ Accesorios	781.08
\$ Gastos indirectos	316.56
\$ VAN	6920.06
TIR , %	66.12
Tiempo de recuperación, Años.	1.6

De los indicadores económicos de la tabla 3.13 se tiene, que esta solución logra una efectividad con un valor de 66.12 % de TIR y un periodo de recuperación de 1.60 años.

Debo aclarar que todos estos resultados se obtuvieron para un tiempo equivalente de trabajo de 6571 horas al año y una tarifa promedio de 0.06 pesos. En el anexo 2.4 aparece el gráfico para este tiempo equivalente de trabajo.

### **3.3.1 Con la inclusión en el sistema eléctrico del Banco de Condensadores en el Hospital" Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero" se obtiene:**

- Ahorro por pérdidas de energía eléctrica 41068.75 kW/año que equivale 2464.056 CUC.
- Ahorro por concepto de penalización en el orden de 6240 CUC al año.
- Pago por concepto de bonificación que equivale a 4423.16 CUC al año.
- La potencia liberada en el sistema representando valores de ganancia en el orden de los 14094.79 y 15285.46 CUC al año.

Otros aspecto a tener en cuenta es la disminución de la demanda contratada desde valores de (450kW hasta 300kW), representa una disminución en cuanto al pago por demanda contratada para una reducción de 9000 CUC al año.

Estos se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Importe Cargo Variable (I}_{CV}) = [(Prp * Cp) + (Prd * Cd)] * K \quad (1.11)$$

$$\text{Cargo Variable} = [(0.08*8500) + (0.04*52500)] * 1.486 = 4131.08$$

$$\text{Importe Cargo Fijo (I}_{CF}) = Prcf * Dc \quad (1.12)$$

$$\text{Cargo Fijo} = 5.00 * 450 = 2250$$

$$I_{PERD} = 2465.23$$

$$\text{Importe Facturación Normal } (I_{FN}) = I_{CF} + I_{CV} + I_{PERD} \quad (1.13)$$

$$(I_{FN}) = 8846.31$$

### **Penalizaciones:**

$$\text{Importe Factor de Potencia } (I_{FP}) = I_{FN} * [(fp_{normal} / fp_{real}) - 1] \quad (1.14)$$

$$\text{Caso 1 Penalización: } I_{FP} = 8846.31 * [(0.90/0.89) - 1]$$

$$I_{FP} = 520 * 12 = 6240 \text{ al año.}$$

### **Bonificación:**

$$I_{FP} = 8846.31 * [(0.92/0.94) - 1]$$

$$I_{FP} = -368.50 * 12 = 4423.155 \text{ al año.}$$

### **3.3.2 Propuesta de un nuevo transformador para la subestación principal.**

Haciendo referencia a lo planteado en el Capítulo I sobre el régimen subcargado del transformador principal, por debajo del 30 % de su capacidad nominal y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la valoración económica representando valores altos de ganancias, es ventajosa la propuesta de un nuevo transformador para la subestación principal, ya que el pago de la inversión se lograría prácticamente en el primer año y esto traería como ventajas la eliminación de las pérdidas por transformación y una gran estabilidad del sistema.

### **Las aplicaciones:**

#### **Industrial**

- La Industria química
- La Industria siderurgia
- Los aeropuertos
- Las tiendas

#### **La utilidad**

- Las Utilidades eléctricas
- En los Hospitales.
- Las Cooperativas Eléctricas rurales y Municipales.



### **Las ventajas de SSTs Lleno Líquido**

- El Mantenimiento no es tan seguido (poco mantenimiento).
- BILs (BILS es la marca del transformador) más alto que los Transformadores Secos.
- El Sonido mediante el trabajo es bajo.
- Las Pérdidas son pocas.

### **Las especificaciones**

- 65°C la temperatura Normal.

Los altos voltajes normados:

-2,400, 4,160, 7,200, 12,000, 12,470, 13,200, 13,800, 22,900, 34,500.

Los bajos voltajes normados:

-208, 480, 600, 2,400, 4,160.

- Los taps están disponibles con todos los voltajes y los aceites disponibles.

Las diferentes potencias normadas:

500, 750, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,750, 5,000, 7,500, 10,000 kVA.

### **Los Rasgos de la Construcción generales**

- El aceite de aislamiento del transformador de subestación de tipo secundario es diseñado, manufacturado y probado de acuerdo con las Normas de ANSI.
- La impedancia, nivel de sonido y conexiones de voltaje son en el acuerdo con las Normas de NEMA.
- El núcleo se construye con la ganancia de calidad superior orientó el silicona las laminas de acero para reducir tamaño, sonido y pérdidas.
- Las espiras son construidas rectangular muy fuerte para la calidad eléctrica, el adhesivo cubierto de papel para los cambios.
- La bobina se ensamblan en el núcleo y se instala en un tanque sellado, sumergió en el aceite aislador para prevenir suciedad, humedad y elementos corrosivos de deteriorar la integridad eléctrica y mecánica del el transformador. El transformador tiene cuatro taps aproximadamente 2.5 por ciento de la potencia en kVA. Dos sobres y dos debajo del voltaje primario.

Estos taps están disponibles en ningún caso extremo de operación para cambiarlo manual para el funcionamiento sólo cuando el transformador se le da energía.

**Precio de compra del transformador: \$ 18600.00.USD**

- **El ahorro de las pérdidas de transformación logrando la sustitución del transformador está en el orden de los 8 MW h al año.**

### **Método de Cálculo**

Pérdidas totales en transformadores de Distribución.

$$PT = PFE \times t_3 + (kVar/kVAn)^2 \times PCU \times T_1 \quad (1.10)$$

Donde:

- PT:** Pérdidas totales que se producen en un transformador.
- PFE:** Pérdidas de Hierro.
- t<sub>3</sub>:** Tiempo en horas en que está energizado el transformador.  
24 horas x 30 días = 720 horas/mes.
- KVAr:** Consumo del mes (kWh)/T<sub>1</sub> x fp = kVA reales.
- PCU:** Pérdidas de Cobre.
- T<sub>1</sub>:** Tiempo de trabajo en que interactúa la corriente de carga  
Un turno 200 h/mes  
Dos turnos 400 h/mes  
Tres turnos 720 h/mes
- KVAn:** kVA nominales.

## *Conclusiones*

- 1.- La utilización de los algoritmos heurísticos avanzados permite reducir el tiempo de cálculo y garantizar soluciones eficientes para un sistema real que presenta un elevado número de codificaciones producto de la cantidad de nodos, transformadores y dispositivos correctores como los bancos de capacitores.
- 2.- La ponderación de los nodos e indicadores, así como el uso de valores esperados en los parámetros de explotación, facilita la obtención de soluciones consideradas óptimas o eficientes cercanas a una calidad predeterminada.
- 3.- Las soluciones obtenidas permiten reducir pérdidas superiores a un 90 % en comparación con las iniciales, incrementa la eficiencia en el sistema y garantizan que los valores del  $\cos \varphi$  en el nodo de carga sea superior al 0.92.
- 4.- Las inversiones necesarias para las soluciones consideradas como óptimas tanto para la variante #1 como la Variante # 2 resultan factibles al tener un VAN que supera los \$6765.63 para una Tasa Interna de Rendimiento entre 66.20 % y un 67.12 % para periodos de recuperación de la inversión entre 1.65 y 1.60 años respectivamente.

### **Conclusiones generales.**

- Al determinar el nivel de carga de los transformadores se ha puesto de manifiesto que el transformador principal está trabajando a menos de un 30 % de su capacidad nominal por lo que existe una reserva considerable para cualquier tipo de futura aplicación del sistema.
- Los transformadores secos de distribución, situados en las diferentes salas del Hospital, en su gran mayoría se encuentran prácticamente subcargados lo que permite en determinados casos redistribuir las cargas y desconectar de sistema parte de estos transformadores, con lo cual se logra disminuir las pérdidas.
- El horario de mayor consumo se encuentra entre las 7:00 AM y 2:00 PM, lo que beneficia a la entidad ya que este consumo no se encuentra dentro del horario pico nacional.
- Con la mejora del factor de potencia la entidad logra grandes beneficios, tanto desde el punto de vista económico como de la eficiencia, logrando una gran estabilidad en el sistema de distribución así como la eliminación del recargo por este bajo factor.
- El desempeño del programa DYCSSE es satisfactorio, resultando factible su uso para evaluar el comportamiento de sistemas eléctricos, a partir de su modelación en el cálculo de flujo de cargas a frecuencia fundamental.
- La utilización de los algoritmos heurísticos avanzados permite reducir del tiempo de cálculo y garantizar soluciones eficientes para un sistema real que presenta un elevado número de codificaciones.
- La ponderación de los nodos e indicadores, así como el uso de valores esperados en los parámetros de explotación, facilita la obtención de soluciones consideradas óptimas o eficientes cercanas a una calidad predeterminada.
- Las soluciones obtenidas permiten reducir pérdidas, incrementando la eficiencia en el sistema eléctrico de distribución, garantizando que el valor del  $\cos \phi$  sea el óptimo.
- Las variantes económicas obtenidas resultan factibles en cuanto a los valores obtenidos del VAN, TIR, PeRe.

### **Recomendaciones**

- El acomodo de cargas para aquellos transformadores que se encuentran subcargado, permitiendo desconectar del sistema parte de estos logrando disminuir las pérdidas.
- Crear un plan de medidas de ahorro técnicamente fundamentada en la entidad que tenga como objetivo principal la utilización de los equipos altos consumidores en los horarios de menor demanda.
- Capacitar al personal técnico para que eleven su nivel en cuanto a la explotación del sistema de distribución de energía y pueda reducir las perdidas de dicho sistema.
- Sustituir el transformador principal por uno de menor capacidad dejando un margen de capacidad para futuras aplicaciones en el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Análisis de redes eléctricas*. Laboratório de electrotecnia y redes eléctricas. Departamento de ingeniería eléctrica. Universidad de Vigo.
2. AYDOGAN O., YUN L., y SINGH C. *"Post-Outage Reactive Power Flow Calculations by Genetic Algorithms: Constrained Optimization Approach"*. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 3, august 2005.
3. ARZOLA R. J; SIMEON R. M; A. MACEO. *"The integration of variables method: a generalization of genetic algorithms"*. Intensive Workshop in Optimal Design of Material and Structure. Paris 2003.
4. ARZOLA R. J. *"Sistemas de Ingeniería"*. La Habana: Editorial "Felix Varela", 2000.
5. CORDOVES A. *"Diseño optimo multiobjetivo y preparación CAD/CAPP de redes de conducto e climatización"*. Tesis Doctoral. Holguín. 1999.
6. Colectivo de autores. *Temas especiales de sistemas eléctricos industriales*. Universidad de Cienfuegos: Centro de estudios de energía y medio ambiente (CEEMA). 2006.
7. CARILLO GILBERTO; ORDONES CAICEDO GABRIEL. *Metodología integral para la compensación de la potencia ficticia en sistemas de distribución de energía*. Simposio Internacional sobre Calidad de Energía Eléctrica. Colombia. 2001.
8. Catálogo del General Electric. 2007.
9. COELLO C. A. *"Introducción a la computación Evolutiva"*. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Sección de Computación. Instituto Politécnico Nacional. México, 2004.
10. FEODOROV A.A; RODRIGEZ LOPEZ, E. *Suministro Eléctrico de Empresas Industriales*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1980.
11. FERNAO PIRES D, GOMES MARTINS A. and HENGGELENT ANTUNES C.A *"Multiobjective Model for VAR Planning in Radial Distribution Networks Based on Tabu Search"*. IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 20, No. 2, May 2005.

12. GRAINGER JOHN, STEVENSON Jr, WILLIAM D. *Análisis de sistemas de potencia*. Programas educativos. SA. México. 1995.
13. GARCIA MARTINEZ SANTIAGO, CARLOS. *Estudio del Sistema de Suministro Eléctrico del Hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero*. Tesis en opción al título de Ingeniero Eléctrico. Moa. 2003
14. GONZALEZ P.I, LEGRA L A, RAMIREZ M. S. "*Diseño y desarrollo del software DYCSE Versión 1.0*". Simposio Internacional Eléctrica 2003. Villa Clara.
15. GONZALEZ P.I, RAMIREZ. M S. "*Compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos*". Revista Geología y Minería. 1999.
16. GONZALEZ P.I, MARRERO R.S. "*Optimización y control de la compensación de potencia reactiva con el uso de la programación dinámica*". Revista Energética, Vol. XXV, No. 2-2004.
17. GONZALEZ P.I, ARZOLA R., MARRERO R.S, LEGRA L.A. "*Operación bajo criterios múltiples de redes de suministro eléctrico industrial*". SELASI, Perú. Marzo 2005.
18. GONZALEZ P. I, LEGRA L. A., MARRERO R. S, ARZOLA R. J. "*Optimización de la Compensación de la Potencia Reactiva en Redes de Suministro Eléctrico Industriales con el empleo de un algoritmo de criterios múltiples*". Parte I. Revista Energética, Volumen XXVII, No. 2/2006
19. GONZALEZ P. I, LEGRA L. A., MARRERO R. S., ARZOLA R. J. "*Optimización de la Compensación de la Potencia Reactiva en Redes de Suministro Eléctrico Industriales con el empleo de un algoritmo de criterios múltiples*". Parte II. Revista Energética, Volumen XXVIII No. 1/2007.
20. GONZALEZ PALAU ILIANA. "*Compensación de potencia reactiva bajo criterios múltiples*". 2008.
21. HERNANDEZ G. "*Eficiencia en el suministro eléctrico de baja tensión*". Tesis de Maestría. 2000.
22. HOLLAND J. H. "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*". University of Michigan Press, AnnArbor. 1976.
23. IEEE. "*Recommended Practice for Industrial and Comercial Power Systems Analysis*". STD 399-1997.

24. MALIUK S. *"Compensación de potencia reactiva en la producción"*. Stgo de Cuba. Edit. Oriente. 1980.
25. MIMBAS, Unión Eléctrica. *Manual de Consumidores: Tarifas Eléctricas y su Aplicación*. 2007.
26. Manual del Analizador de Redes de NORTHWOOD DATA LOGRES LTD.
27. Manual de Aplicaciones de las Tarifas Eléctricas. Cuba. 2002.
28. MARRERO R. SECUNDINO DrC, ILEANA GONZALEZ PALAU MsC. *Evaluación del flujo armónico en redes industriales durante la corrección del factor de potencia*. [en línea]. Disponible en: <http://www.bibliociencias.cu>.
29. LABORDE BROWN, REYNALDO. *Estudio del sistema de distribución de energía eléctrica del Hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero*. Moa. Septiembre. 2003.
30. PRECONS II, *Sistema de Precios de la Construcción*, Editorial Obras. Centro de Ingeniería de la Construcción. Habana 2006.
31. PEREZ ABRIL IGNACIO, GONZALEZ QUINTERO JOSE ÁNGEL. *Compensación de Potencia Reactiva por Programación Cuadrática Secuencial*. Conferencia científica internacional. Las Villas. 2002.
32. PERCY VIEGO FELIPE. DR. *Temas especiales de sistemas eléctricos industriales*. Centro de estudios de energía y medio ambiente. (CEEMA).
33. RODRIGES VASQUEZ JOSE LUIS. *Seminario latinoamericano y del caribe de eficiencia energética*. [en línea]. Lima, 2008. Disponible en: <http://www.olade.org>
34. REGLAMENTO DE BAJA TENSIÓN, XX – *Compensación de la energía reactiva*. [en línea]. N.3 / C XX – Marzo '00. Disponible en: <http://www.conatel.com>.
35. SAINZ S.L. *"Formulación de flujo de carga armónico"*. Universidad de Cataluña. Tesis doctoral. 1995.
36. STVENSON W.D. *"Análisis de Sistemas de Potencia"*. 1977.
37. SANTAMARTA JORGE. *La eficiencia energética*. [en línea]. WORLD WATCH. 2007. Disponible en: <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/eficiencia.pdf>.

38. SCHNEIDER ELECTRIC. *Power Factor and Harmonic Filtering*. 2000.
39. SCHNEIDER ELECTRIC. *Compensación de energía reactiva y filtrado de armónico. Catálogo*. 2003.
40. *Uso Eficiente de la Energía Eléctrica*. [en línea]. Perú: Procobre. Disponible en: <http://www.procobreperu.org>
41. YING-YI HONG, and SAW -YU HO. "*Determination of Network Configuration Considering Multiobjective in Distribution Systems. Using Genetic Algorithms*". IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 20, No. 2, May 2005.
42. ZHANG Y. "*Optimal Reactive Power Dispatch Considering Costs of Adjusting the Control Devices*". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 3. August 2005.

# *ANEXOS.*

Anexo 1.1 Transformador # 1 Subestación principal 1000 kVA.

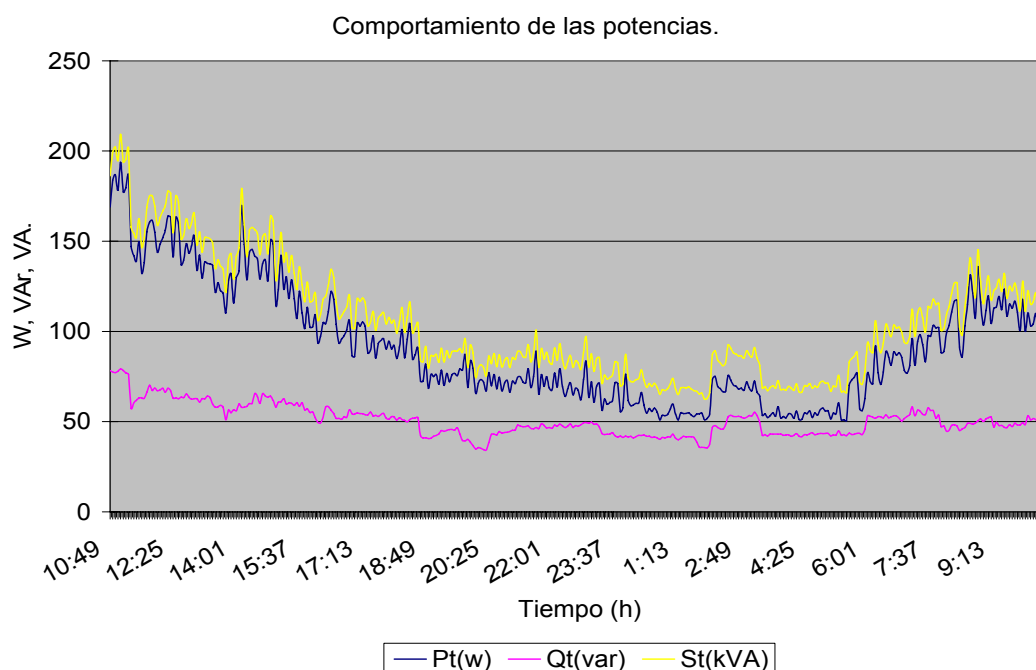
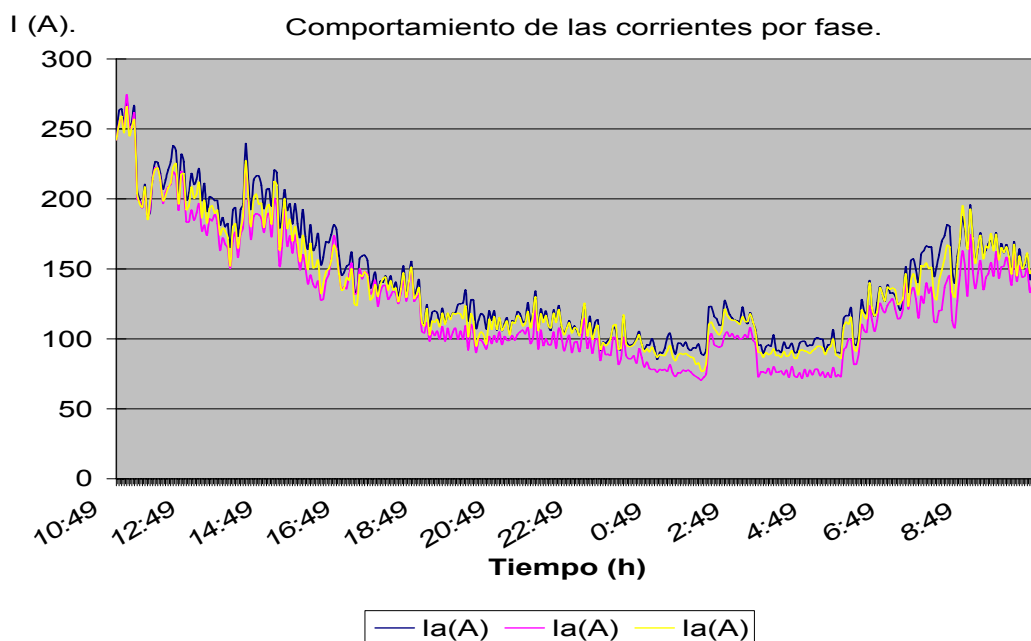
Date	Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(VAr)	St(kVA)	FP
29/01/09	10:49	243.7	242.2	242.3	258.6	248.5	258.6	168.98	78.28	186.25	0.9
29/01/09	11:05	269.4	274.6	266	258.3	258.4	257.8	193.68	79.2	209.26	0.92
29/01/09	11:21	206.5	200.2	204	257.5	258.8	257.8	147.02	57.41	157.87	0.93
29/01/09	11:37	187.9	187.5	185.4	260.5	261.4	261.2	132.22	63.09	146.51	0.9
29/01/09	11:53	225.8	221.8	221.9	260.5	262.1	261.5	161.58	67.3	175.05	0.92
30/01/09	12:09	220.6	208.5	207.8	260.9	262.1	261.9	151.97	68.42	166.7	0.91
30/01/09	12:25	202.7	191.9	196.3	261.2	262.5	261.9	141.33	62.98	154.78	0.91
30/01/09	12:41	204	183.7	195	262	263.6	263.4	139.44	63.36	153.3	0.9
30/01/09	12:57	221.3	196.4	211.6	261.6	263.6	263	152.97	62.69	165.53	0.92
30/01/09	13:13	201.4	185.6	193.1	260.9	262.5	262.3	138.42	62.64	152.02	0.91
30/01/09	13:29	181.5	163.3	174.6	258.6	260.3	260	121.67	58.02	134.94	0.9
30/01/09	13:45	165.5	150.6	152.2	258.3	259.5	260	110.26	51.05	121.59	0.9
30/01/09	14:01	192.4	174.8	177.7	258.3	259.9	260	129.95	56	141.6	0.91
30/01/09	14:17	192.4	171	180.3	258.6	259.9	260	128.59	58.44	141.4	0.9
30/01/09	14:49	195	172.9	182.2	258.6	259.9	260	127.91	63.56	142.99	0.89
30/01/09	15:05	187.9	165.2	178.4	257.9	259.5	259.3	123.39	60.77	137.72	0.89
30/01/09	15:21	182.2	161.4	170.1	257.5	258.8	258.6	118.28	60.31	132.91	0.88
30/01/09	15:53	163.5	139.2	150.9	255.7	257.3	256.7	102.37	55.03	116.46	0.87
30/01/09	16:09	158.4	128.4	139.4	255.7	257.3	256.3	97.21	49.27	109.34	0.88
30/01/09	16:25	181.5	173.5	166.9	256.4	257.7	257.1	122.08	56.28	134.46	0.9
30/01/09	16:57	135.3	132.2	125.3	259	260.3	259.7	86.51	54.36	102.19	0.84
30/01/09	17:13	159.7	148.1	147.7	259.8	261	260.4	105.27	54.32	118.51	0.88
30/01/09	17:45	144.9	137.9	143.9	257.9	259.5	258.6	95.99	54.57	110.47	0.86
30/01/09	18:01	140.5	132.2	136.2	258.3	259.5	259.3	92.16	52.58	106.13	0.86
30/01/09	18:33	135.3	129.6	131.7	254.6	255.9	256	87.13	52.12	101.55	0.85
30/01/09	19:05	118.6	105.5	113.8	257.2	258.8	258.9	76.18	42.34	87.25	0.87
30/01/09	19:37	124.4	99.8	118.3	258.3	260.3	260.8	75.47	46.69	89.09	0.84
30/01/09	20:09	113.5	99.1	101.6	251.6	253.7	253.7	71.26	35.61	79.77	0.89
30/01/09	20:41	114.8	104.8	115.1	258.6	260.3	260.4	74.6	44.49	86.98	0.85
30/01/09	21:13	118	104.8	115.1	260.9	262.8	262.6	74.85	47.52	88.79	0.84
30/01/09	21:45	121.2	106.1	117.6	260.9	262.8	263	76.13	48.78	90.58	0.84
30/01/09	22:17	108.4	100.4	109.3	263.1	264.7	265.2	69.2	47.62	84.1	0.82
30/01/09	22:49	115.4	102.9	113.2	266	267.2	267.8	73.29	49.34	88.47	0.82
30/01/09	23:21	97.5	94.7	97.2	260.5	261.7	262.3	62.5	42.78	75.77	0.82
30/01/09	23:53	116.1	101	117	259.8	261.4	261.5	76.32	41.87	87.28	0.87
30/01/09	0:25	92.3	80	90.8	260.5	262.1	262.3	54.69	41.85	69	0.79
30/01/09	1:29	97.5	76.9	89.5	260.9	262.8	263	54.92	41.76	69.26	0.79
30/01/09	2:01	92.3	75	82.5	262.3	263.9	264.5	54.12	37.49	66.03	0.81
30/01/09	2:33	122.5	104.8	117	262	263.6	264.1	73.08	53.48	90.75	0.8
30/01/09	3:05	110.9	101	112.5	263.1	264.7	264.9	67.11	53.18	85.76	0.78
30/01/09	3:37	95.5	78.8	88.8	263.8	265.4	265.6	54.94	43.01	69.94	0.78
30/01/09	4:09	93.6	72.4	88.2	262.7	264.7	264.9	51.89	42.42	67.36	0.77
30/01/09	4:41	95.5	77.5	89.5	263.4	265	265.6	54.88	42.7	69.76	0.78
30/01/09	5:13	96.2	72.4	94.6	262.3	264.3	264.5	54.12	42.54	69.34	0.78
30/01/09	5:45	121.8	99.1	115.1	261.6	263.6	263.4	76.78	43.45	88.51	0.86
30/01/09	6:17	121.8	113.7	122.1	260.1	261.7	261.2	77.14	52.73	93.52	0.82
30/01/09	6:49	132.8	128.4	136.2	256.1	258.1	257.1	88.19	51.88	102.41	0.86
30/01/09	7:21	157.1	136.6	146.4	255.3	257.3	256.3	98.14	55.79	113.06	0.86
30/01/09	7:53	144.9	112.5	131.1	257.9	259.9	259.3	88.29	47.2	100.62	0.87
30/01/09	8:25	139.8	108	129.8	257.2	259.5	258.9	85.88	45.99	97.91	0.87
30/01/09	8:57	155.8	136	154.1	256.8	259.2	258.6	103.53	50.05	115.25	0.89
30/01/09	9:29	175.7	162.1	174.6	256.4	258.4	257.8	123.4	46.89	132.15	0.93

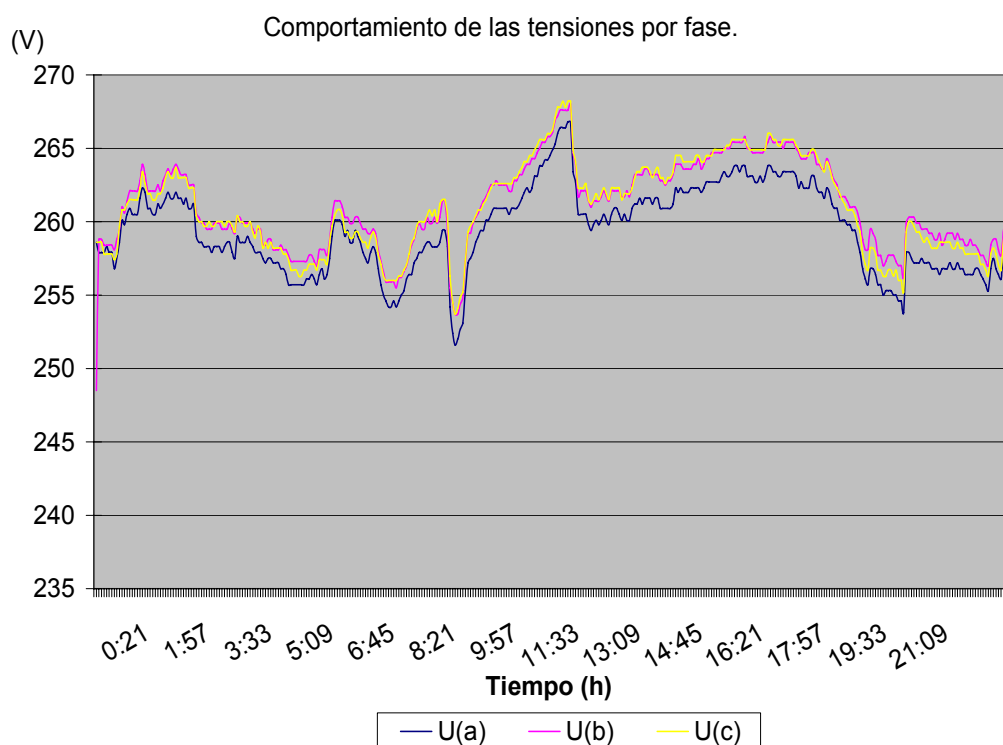
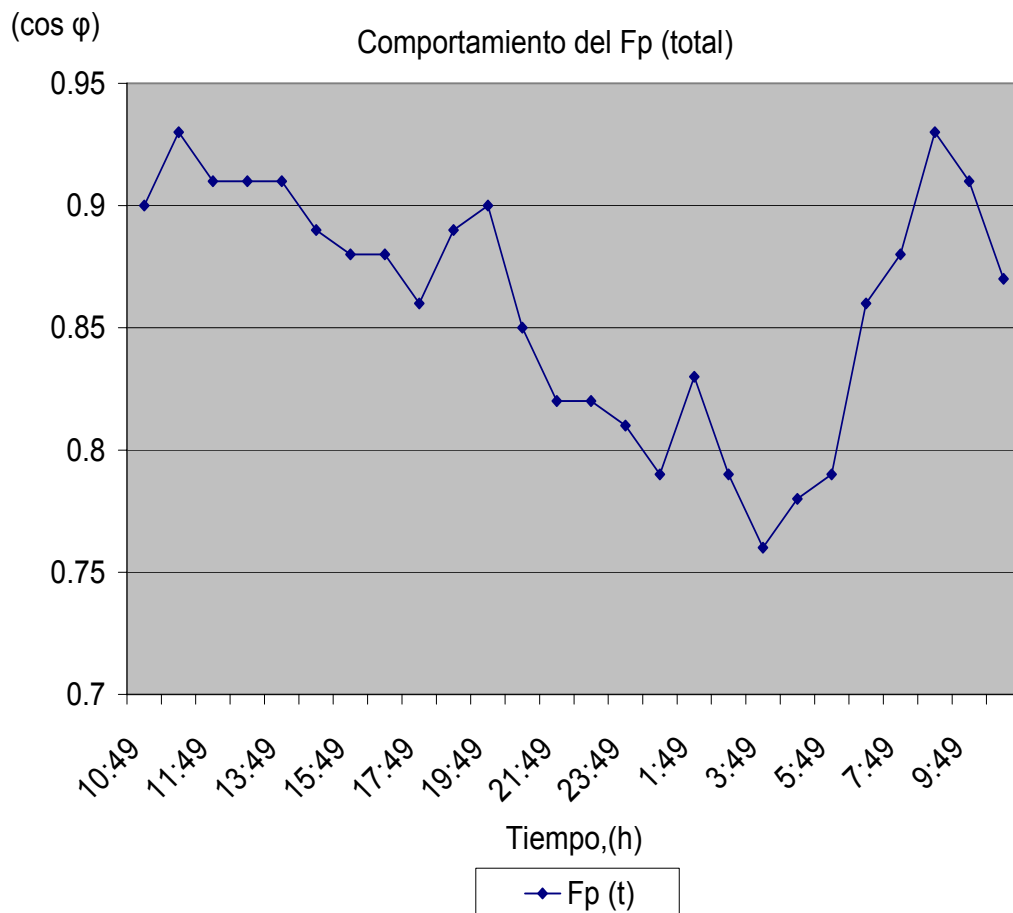
Tabla # 1. Mediciones realizadas en el transformador 1.

Transformador principal: 13800 V – 480 V. Alimenta todo el hospital (suministro de la red nacional).

En este transformador en caso de algún problema existente los autorizados a trabajar en el son los operadores de la empresa eléctrica, encargándose también de la conexión y desconexión del circuito del cual se va alimentar.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 1.





**Transformador # 2 Lavandería 37 Kva.**

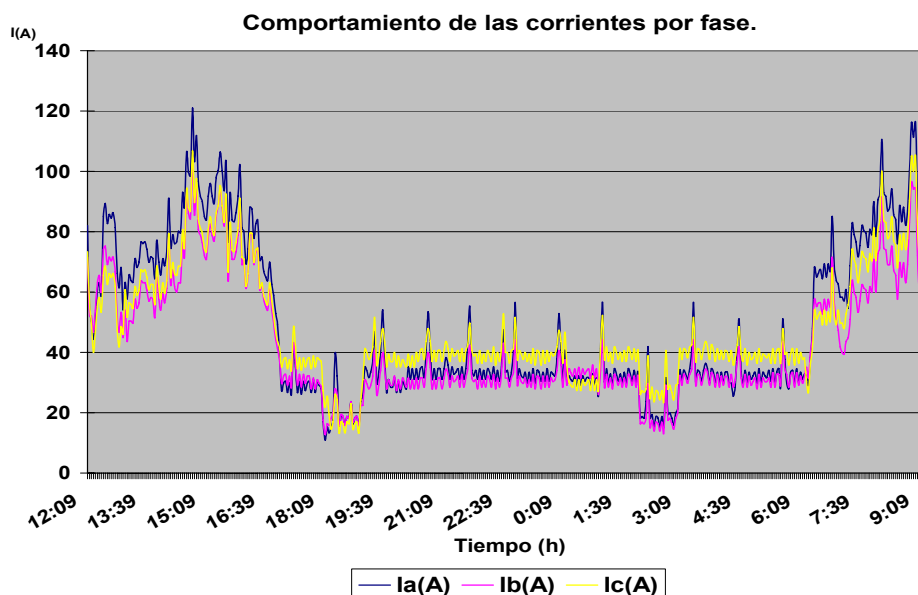
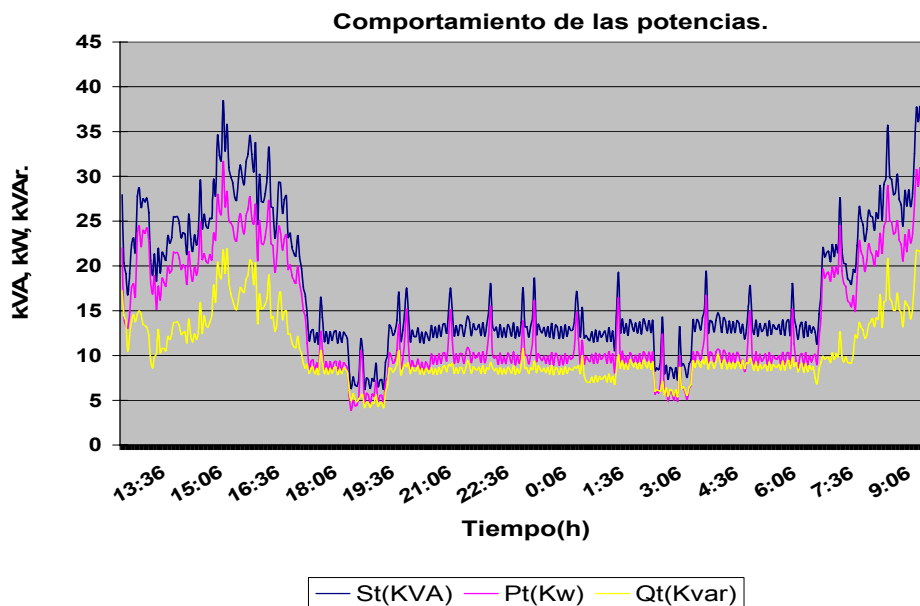
Hora	Ia (A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	St(KVA)	Pt(Kw)	Qt(KVAr)	cos $\varphi$
12:09	82.1	71.6	73.4	119.1	119	117	72.6	22	69.19	0.30
12:15	50.4	52.1	49.7	119.7	119	118	19.14	13.3	13.74	0.70
12:45	84.5	70.3	64.9	119.1	118	118	27.14	23.6	13.33	0.87
13:15	63.8	50.3	55.8	119.1	119	116	21.1	18.1	10.78	0.86
13:45	71.7	58.2	62.5	119	119	115	23.72	20.1	12.56	0.85
14:15	74.8	62.4	64.9	116.1	116	112	24.22	20.8	12.49	0.86
14:45	98.5	84.3	86.8	115.6	115	111	31.74	25.7	18.60	0.81
15:15	96	82.5	85	115.7	115	112	31.25	25.8	17.59	0.83
15:45	93	80	83.1	115.1	115	112	30.2	25.1	16.87	0.83
16:15	88.1	78.8	79.5	115.7	115	113	29.31	24.4	16.24	0.83
16:45	69.9	61.2	63.1	115.7	115	113	23.39	20	12.14	0.85
17:15	29.8	32.1	37.6	116.7	116	115	12.55	9.17	8.57	0.73
17:45	30.4	32.1	38.2	117.2	116	116	12.76	9.34	8.69	0.73
18:15	13.3	15.7	19.4	117.3	115	116	6.74	4.38	5.12	0.65
18:45	18.2	18.2	16.3	116.6	114	115	7.16	5.46	4.63	0.76
19:15	31.6	27.9	37.6	116.9	114	115	12.25	9.14	8.16	0.75
19:45	31	30.9	39.4	117.5	115	116	12.82	9.44	8.67	0.74
20:15	35.2	31.5	39.4	117.2	115	116	13.34	10.2	8.62	0.76
20:45	53.5	40	47.9	117.2	115	116	17.51	15.1	8.83	0.86
21:15	35.8	32.7	41.2	116.6	115	114	13.68	10.4	8.84	0.76
21:45	43.1	34.5	42.5	116.7	115	114	14.93	12.3	8.49	0.82
22:15	34.6	32.1	40.6	116.6	115	114	13.43	10.3	8.67	0.76
22:45	34	31.5	40	117.2	115	115	13.23	10	8.62	0.76
23:15	29.8	28.5	37	117.3	116	115	12.18	9.11	8.08	0.75
23:45	34.6	32.1	40.6	116.3	115	114	13.4	10.2	8.73	0.76
0:15	29.8	29.1	35.8	116.1	115	113	11.94	9.06	7.78	0.76
0:45	31.6	33.9	29.7	120.3	119	120	12.4	9.89	7.48	0.80
1:15	34.6	32.7	41.8	120.1	119	120	14.09	10.5	9.43	0.74
1:45	29.8	28.5	37	120.3	119	120	12.41	9.01	8.53	0.73
2:15	23.7	18.2	27.9	120.6	119	120	9.38	7.19	6.02	0.77
2:45	31.6	29.1	40.6	120.6	119	120	13.21	9.98	8.65	0.76
3:15	32.8	31.5	40.6	120.9	120	120	13.72	10.2	9.19	0.74
3:45	36.4	34.5	43.7	120.4	119	118	14.74	10.7	10.13	0.73
4:15	33.4	32.1	40.6	120.7	120	118	13.88	10.4	9.25	0.75
4:45	34	32.7	41.2	120.1	119	117	13.94	10.4	9.28	0.75
5:15	32.2	30.3	38.8	120	119	116	13.05	9.68	8.75	0.74
5:45	37.7	34.5	39.4	120	119	116	14.3	11.3	8.79	0.79
6:15	32.8	32.1	38.2	118.8	118	115	13.16	9.88	8.69	0.75
6:45	69.3	57.6	54	119.8	118	116	22.39	19.9	10.30	0.89
7:15	57.1	39.4	47.9	117.6	117	116	17.96	15.4	9.17	0.86
7:45	80.2	61.2	71.6	116.3	115	114	25.55	21.5	13.74	0.84
8:15	93	74.6	83.7	115.3	114	114	29.88	25	16.35	0.84
8:45	88.1	69.7	79.5	116.6	115	115	28.48	24	15.30	0.84
9:15	89.4	72.8	81.9	119.1	117	117	29.86	24.2	17.53	0.81

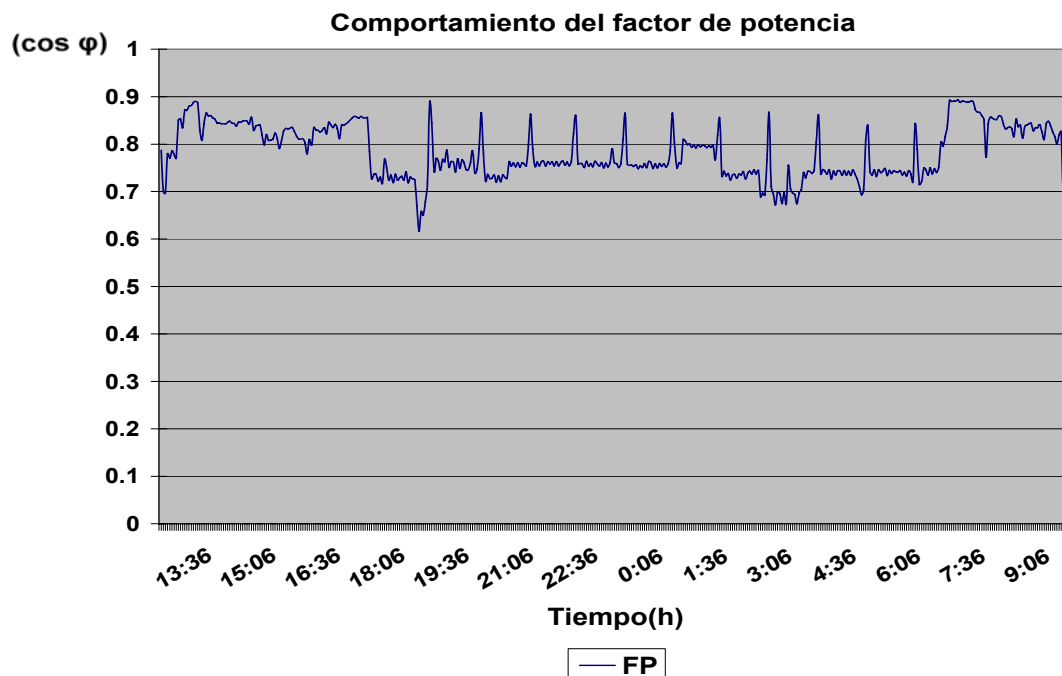
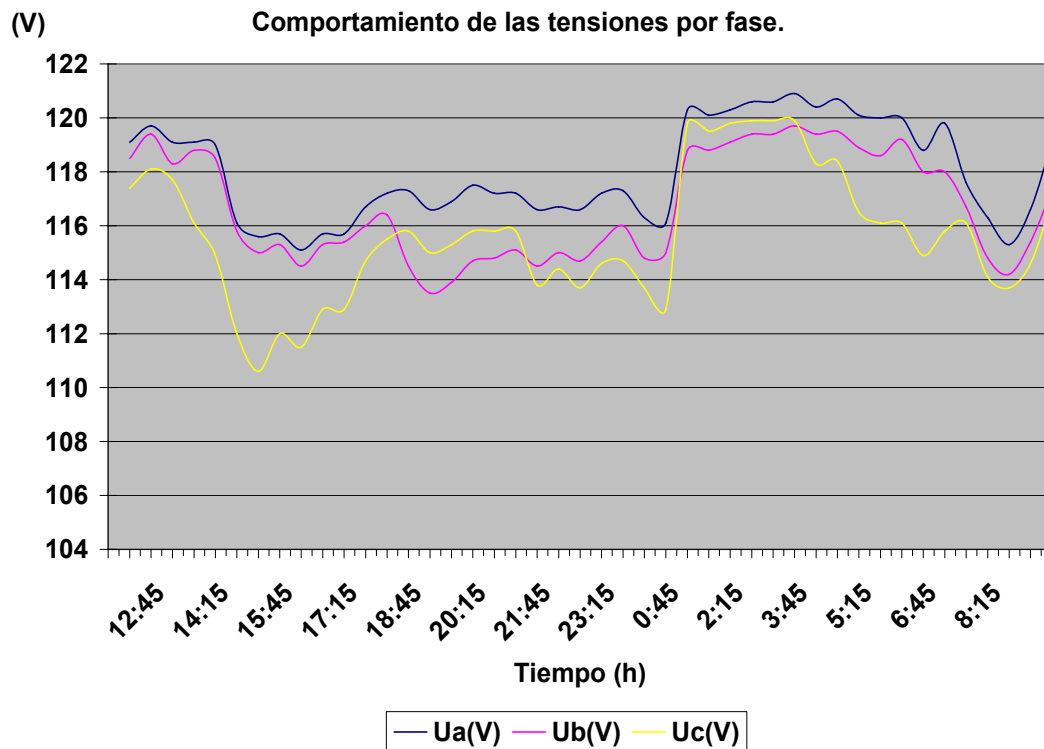
**Tabla # 2. Mediciones realizadas en el transformador 2.**

Este transformador es de 37 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Alimenta la lavandería, caldera, bomba de agua, plantas eléctricas, subestación, neveras de la cocina.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 2.





### Anexo 1.2 Transformador #3 Autoclave de microbiología 15 kVA.

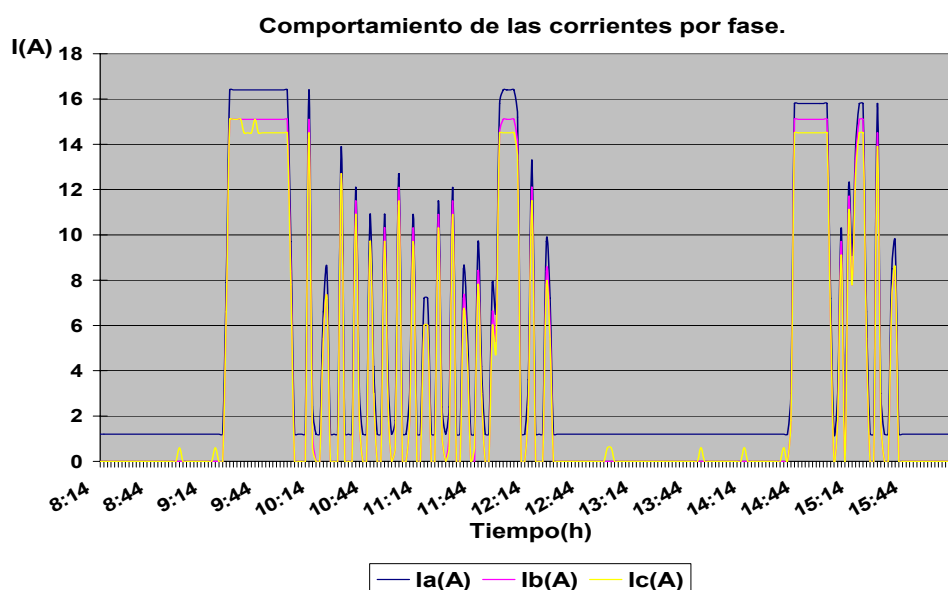
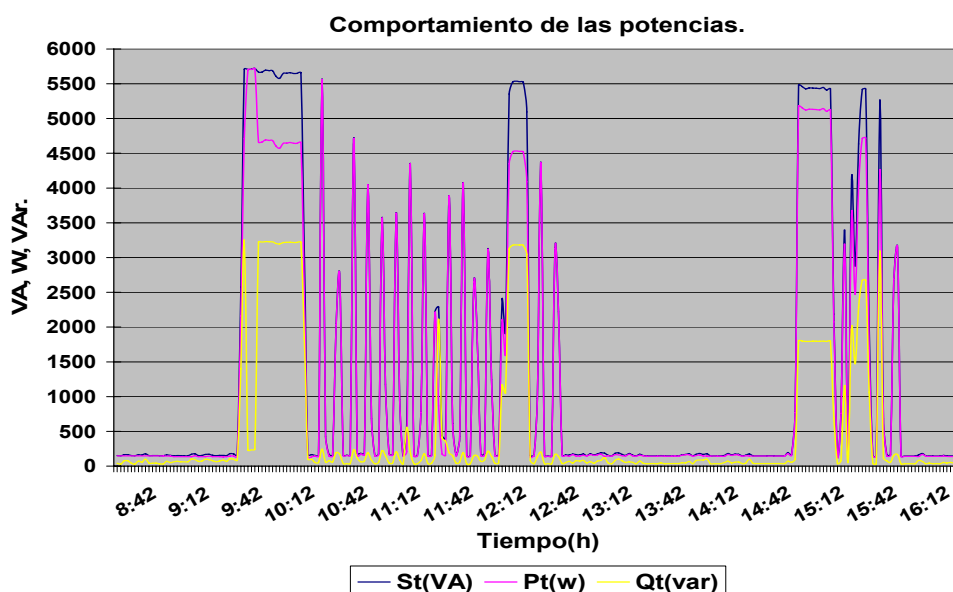
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	St(VA)	Pt(w)	Qt(VAr)	cos $\phi$
8:14	1.2	0	0	121.6	121.1	120.9	152.14	146.82	39.88	0.97
8:30	1.2	0	0	122.3	122.1	121.5	177.95	147.45	99.62	0.83
8:44	1.2	0	0	121.2	120.8	120.4	154.03	145.65	50.11	0.95
9:00	1.2	0	0	121	121.1	120.5	151.56	135.38	68.14	0.89
9:14	1.2	0	0	120.9	120.8	120.2	155.1	131.05	82.96	0.84
9:30	16.4	15.1	15.1	120.1	119.8	119.5	5711.72	5706.95	233.38	1
9:44	16.4	15.1	14.5	119.1	118.8	118.4	5607.58	4602.75	3203.07	0.82
10:00	9.7	8.4	7.8	119.8	119.2	119.3	3074.74	2467.86	1834.04	0.8
10:14	1.2	0	0	119.7	119.2	119.5	164.24	143.41	80.05	0.87
10:30	1.2	0	0	119.2	118.6	118.4	184.43	144.35	114.79	0.78
10:44	10.9	9.7	9.7	118.8	118	118.3	3571.29	3564.37	222.21	1
11:00	12.7	12.1	11.5	118.5	117.9	117.7	4353.36	4348.76	200.07	1
11:14	7.2	6	6	118.8	118.2	118	2215.96	2210.38	157.16	1
11:30	12.1	11.5	10.9	118.5	117.9	118	4079.13	4074.5	194.3	1
11:44	9.7	8.4	7.8	119	118.3	118.3	3118.2	3110.95	212.51	1
12:00	16.4	15.1	14.5	118.7	118	118	5538	4532.73	3181.79	0.82
12:14	13.3	12.1	11.5	119	118.3	118.3	4370.12	4365.52	200.46	1
12:30	1.2	0	0	119.5	119.1	119.3	158.81	143.77	67.46	0.91
12:44	1.2	0	0	119.7	119.2	119.3	159.42	154.28	40.15	0.97
13:00	1.2	0	0	120	119.5	119.6	167.19	149.8	74.25	0.9
13:14	1.2	0	0	119.5	119.2	119.3	147.28	143.05	35.04	0.97
13:30	1.2	0	0	119.8	119.4	119.3	148.72	144.48	35.26	0.97
13:44	1.2	0	0	120.7	120.4	120.4	182.12	160.86	85.39	0.88
14:00	1.2	0	0	120.7	120.5	120.5	182.55	168.05	71.3	0.92
14:14	1.2	0	0	120.6	120.4	120.5	150.79	144.21	44.06	0.96
14:30	1.2	0	0	120.6	120.4	120.4	148.45	144.21	35.23	0.97
14:44	15.8	15.1	14.5	117.2	117	116.8	5427.64	5122.94	1792.98	0.94
15:00	7.2	6	6	117.9	117.6	117.7	2186.18	2076.58	683.52	0.95
15:14	13.9	13.3	12.7	117.5	117	116.9	4635.6	4030.48	2289.98	0.87
15:30	1.2	0	0	118.4	118	118	161.16	142.15	75.93	0.88
15:44	1.2	0	0	118.1	117.8	117.7	145.48	141.16	35.19	0.97
16:00	1.2	0	0	118.2	117.6	117.8	145.57	141.25	35.2	0.97
16:12	1.2	0	0	117.8	117.2	117.2	145.12	140.8	35.15	0.97

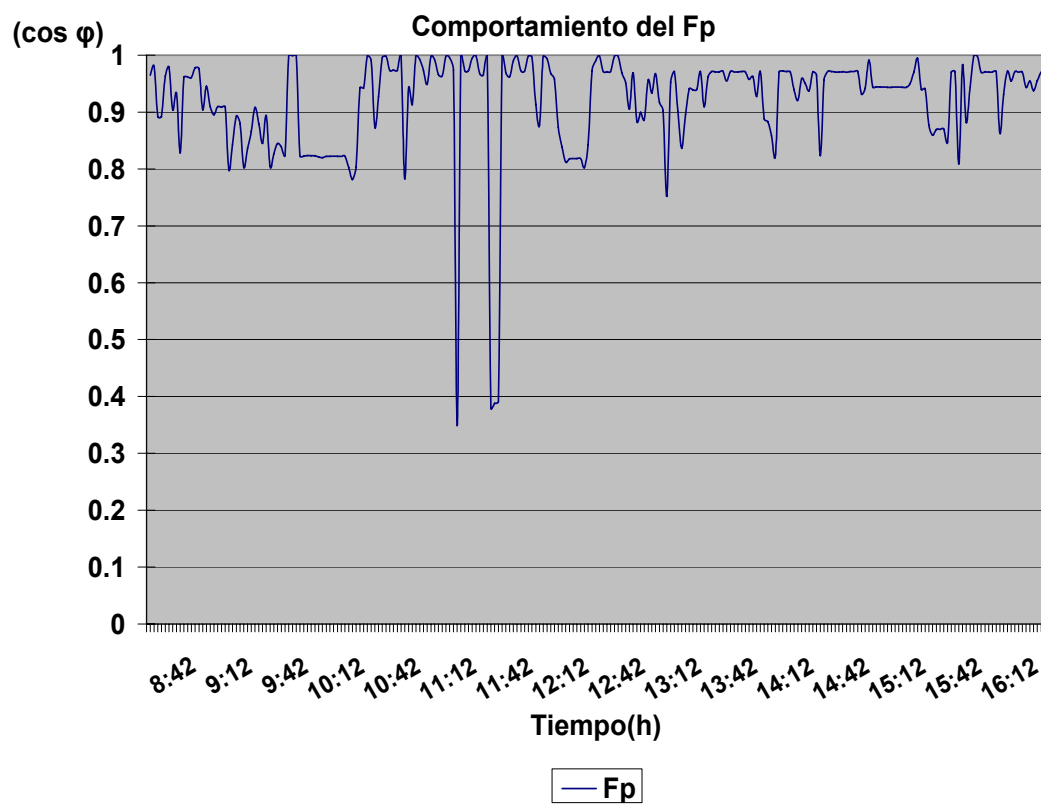
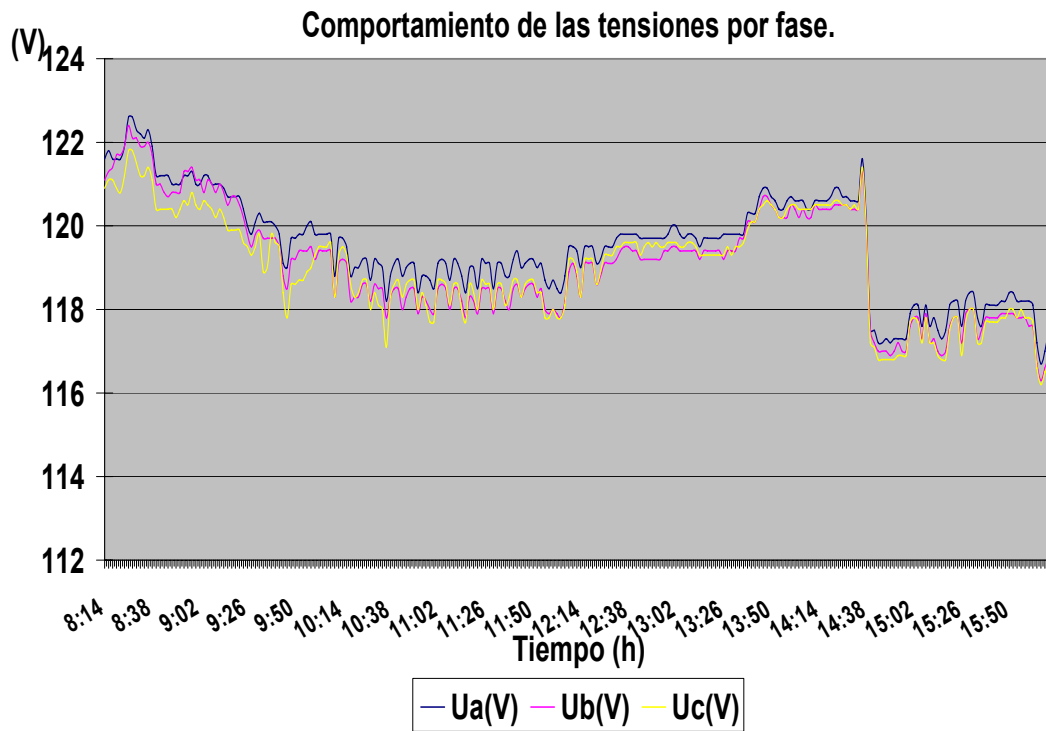
Tabla # 2 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 15 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta la autoclave de microbiología que es de 21 Kw, la misma se puso en dos ocasiones con un tiempo aproximado de 30 minutos, otra autoclave pequeña que se puso en cuatro ocasiones con un tiempo de trabajo de 20 minutos, hay dos hornos de 220 V, 3.2 Kw, 60 Hz, dos refrigeradores conectados las 24 horas y dos incubadoras de 110 V.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 2.





### Anexo 1.3 Transformador # 4 Tomógrafo Axial computalizado (TAC) 45 kVA.

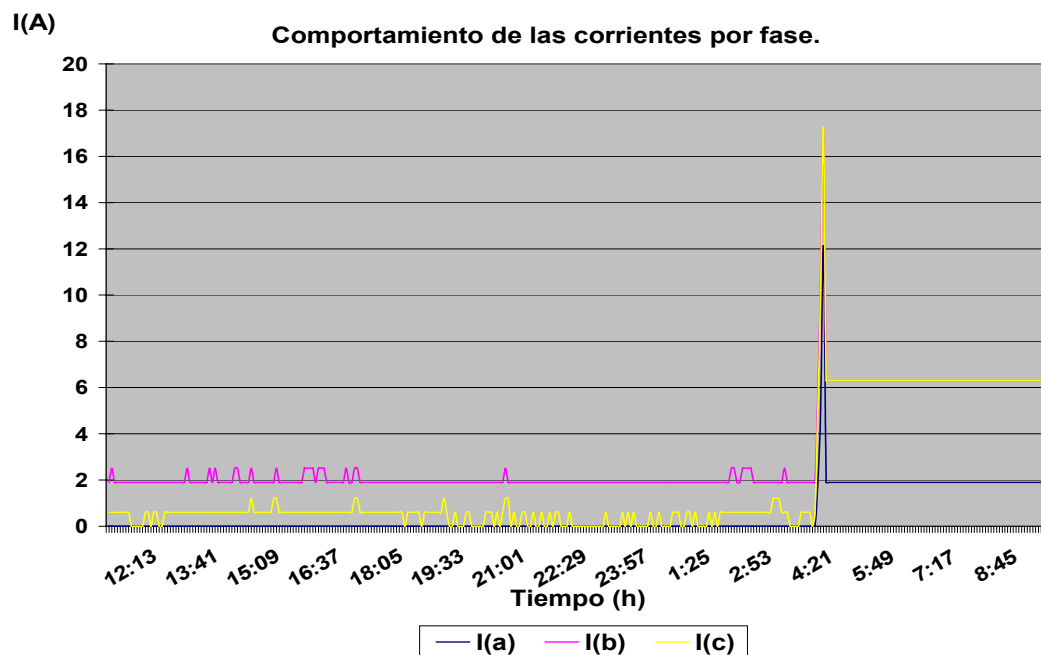
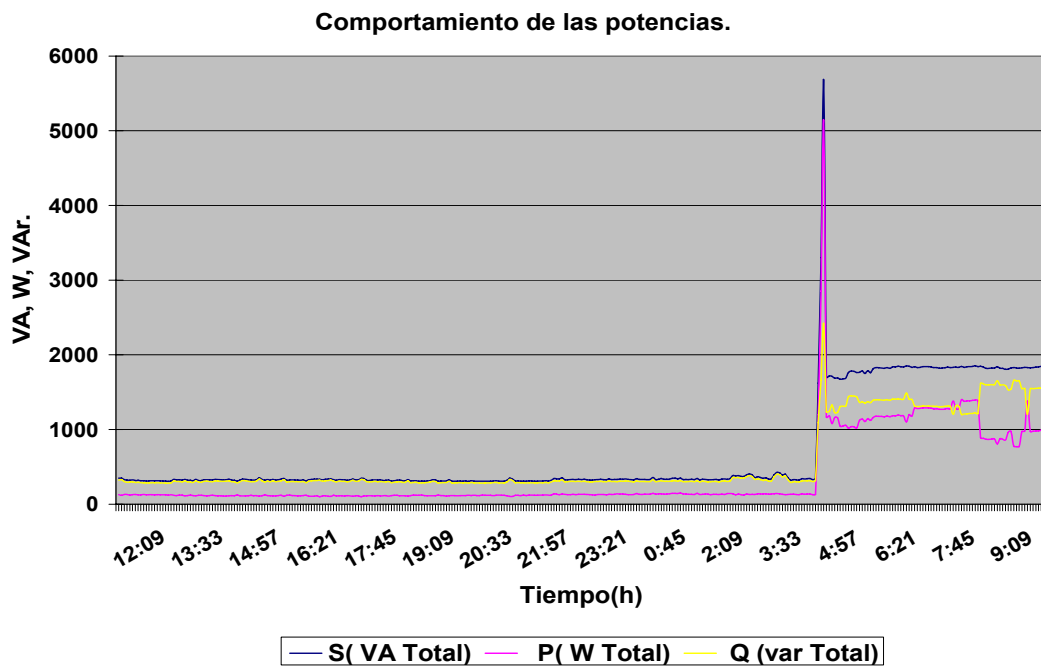
Hora	I(a)	I(b)	I(c)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	P( W)	S( VA)	Q(VAr)	cos $\varphi$
10:49	0	1.9	0.6	125.3	122.9	122.1	128.07	347.83	321.39	0.36
10:53	0	2.5	0.6	125.3	123	122.3	117.68	349.45	301.14	0.33
11:01	0	1.9	0.6	124.7	122.4	121.7	130.64	321.85	293.85	0.4
11:09	0	1.9	0.6	124	121.7	121.1	126.92	325.55	284.83	0.38
11:13	0	1.9	0.6	124.9	122.6	121.8	129.45	318.77	276.12	0.4
11:17	0	1.9	0.6	124.7	122.4	121.8	126.16	320.18	276.26	0.39
11:21	0	1.9	0	124.9	122.6	121.8	123.36	314.28	281.77	0.39
11:29	0	1.9	0	124.3	122.1	121.4	125.88	310.96	281.29	0.4
11:33	0	1.9	0	124.3	122.1	121.2	127.53	311.92	278.85	0.4
11:41	0	1.9	0.6	124.3	122.1	121.4	123.82	311.95	286.03	0.39
11:45	0	1.9	0.6	124.3	122.1	121.4	127.78	314.28	278.02	0.4
11:49	0	1.9	0	124.3	122.1	121.4	125.19	311.91	281.26	0.4
11:53	0	1.9	0.6	124.1	122.1	121.2	125.45	311.27	273.56	0.4
11:57	0	1.9	0.6	124.4	122.1	121.4	124.49	309.38	274	0.4
12:01	0	1.9	0	124.3	122.1	121.2	120.53	305.64	272.68	0.39
12:09	0	1.9	0.6	124.4	122.3	121.5	118.53	333.01	295.14	0.35
12:13	0	1.9	0.6	124.3	122.1	121.4	117.34	324.81	301.78	0.36
12:17	0	1.9	0.6	124.4	122.1	121.4	120.61	326.45	302	0.36
12:21	0	1.9	0.6	124.3	122.1	121.4	120.64	322.52	284.6	0.37
12:29	0	1.9	0.6	124.3	122.1	121.4	115.27	321.11	298.16	0.35
12:33	0	1.9	0.6	124.6	122.4	121.7	120.81	319.66	286.05	0.37
12:37	0	1.9	0.6	124.6	122.4	121.7	116.38	314.98	284.86	0.36
12:41	0	2.5	0.6	124.4	122.3	121.7	114.8	331.12	308.77	0.34
12:45	0	1.9	0.6	124.4	122.3	121.5	118.95	318.73	286.51	0.37
12:49	0	1.9	0.6	124.3	122.1	121.4	119.42	316.88	293.05	0.37
12:53	0	1.9	0.6	124.1	122	121.2	116.67	327.39	303.87	0.35
12:57	0	1.9	0.6	124.1	122	121.4	111.75	327.14	296.93	0.34
13:01	0	1.9	0.6	124.1	122	121.2	115.73	324.13	290.67	0.35
13:05	0	1.9	0.6	124.1	122	121.4	119.66	324.57	291.37	0.36
13:09	0	1.9	0.6	124	122	121.4	115.28	332.07	298.08	0.34
13:13	0	2.5	0.6	124.1	122	121.4	110.36	329.71	308.93	0.33
13:21	0	2.5	0.6	124.1	122	121.2	108.23	325.25	298.7	0.33
13:25	0	1.9	0.6	124.1	122	121.4	110.12	327.84	297.99	0.33
13:29	0	1.9	0.6	124.1	122	121.4	112.93	333.22	301.07	0.33
13:33	0	1.9	0.6	124	121.9	121.2	116.61	322.45	291.53	0.36
13:37	0	1.9	0.6	124	121.9	121.1	114.74	318.94	289.97	0.35
13:45	0	1.9	0.6	124.1	121.9	121.1	113.6	322.46	291.65	0.35
13:49	0	2.5	0.6	124	121.7	120.9	111.07	335.79	304.41	0.33
13:53	0	2.5	0.6	123.7	121.6	120.9	111.76	334.38	303.19	0.33
13:57	0	1.9	0.6	123.8	121.6	120.9	113.13	325.96	295.29	0.34
14:01	0	1.9	0.6	124	121.7	120.9	118.26	323.63	291.15	0.36
14:05	0	1.9	0.6	124	121.9	121.1	113.6	321.77	300.04	0.35
14:09	0	1.9	0.6	123.8	121.7	121.1	115.95	328.32	295.96	0.35
14:13	0	2.5	1.2	123.8	121.7	121.1	108.09	353.11	333.51	0.3
14:17	0	1.9	0.6	123.8	121.6	120.9	112.92	332.98	300.55	0.33

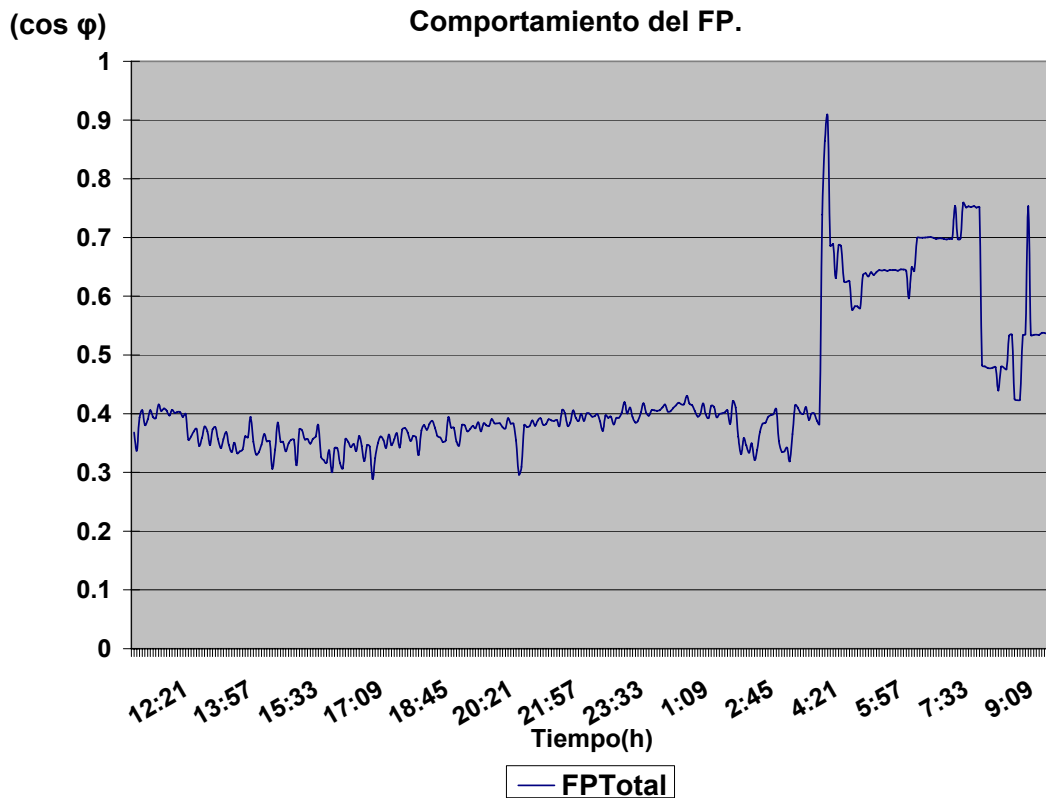
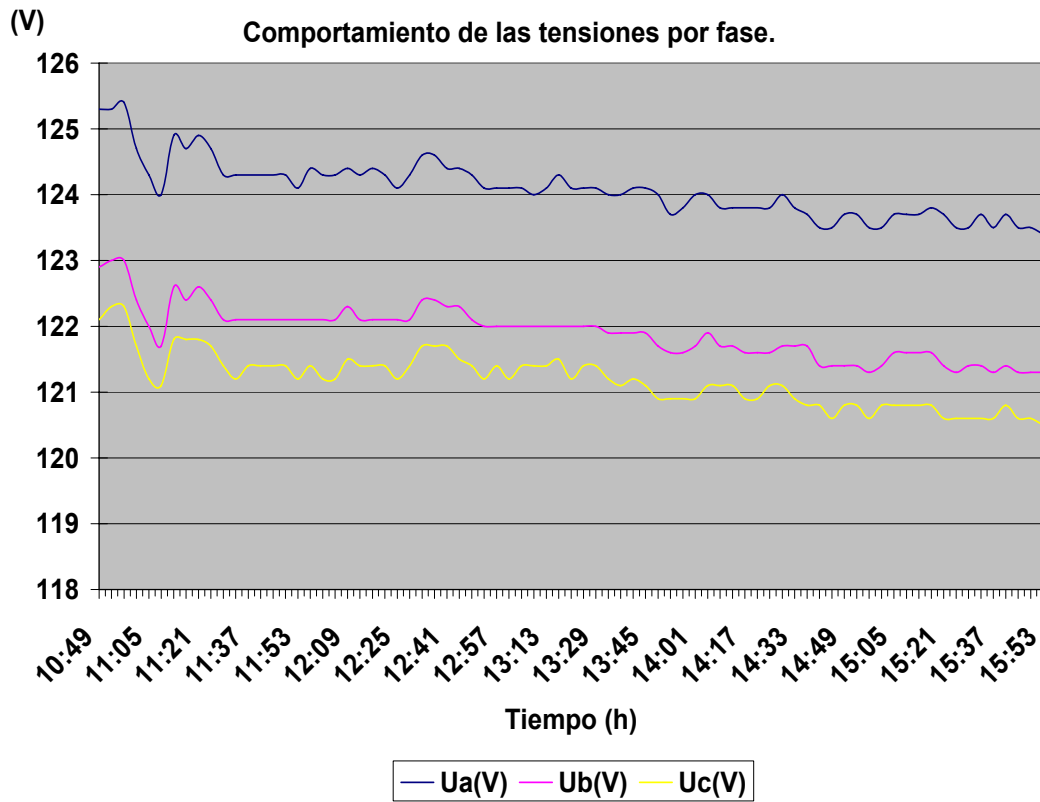
Tabla # 3 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 75 KVA con tensión por el primario de 440V y por el secundario de 220V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

El mismo atiende el área del tomógrafo axial computarizado (TAC).

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla #3.





#### Anexo 1.4 Transformador # 5 10 Kva.

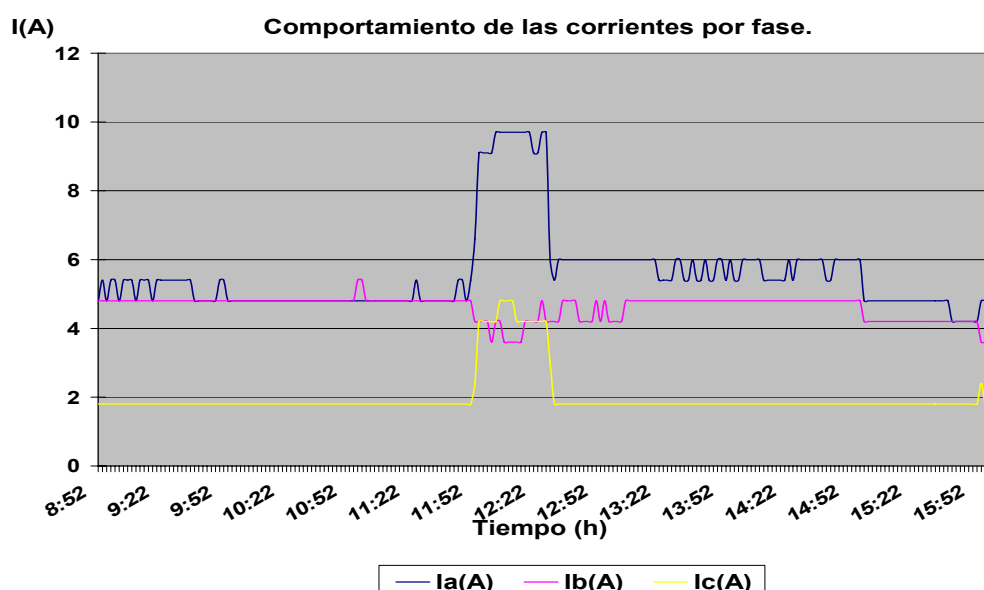
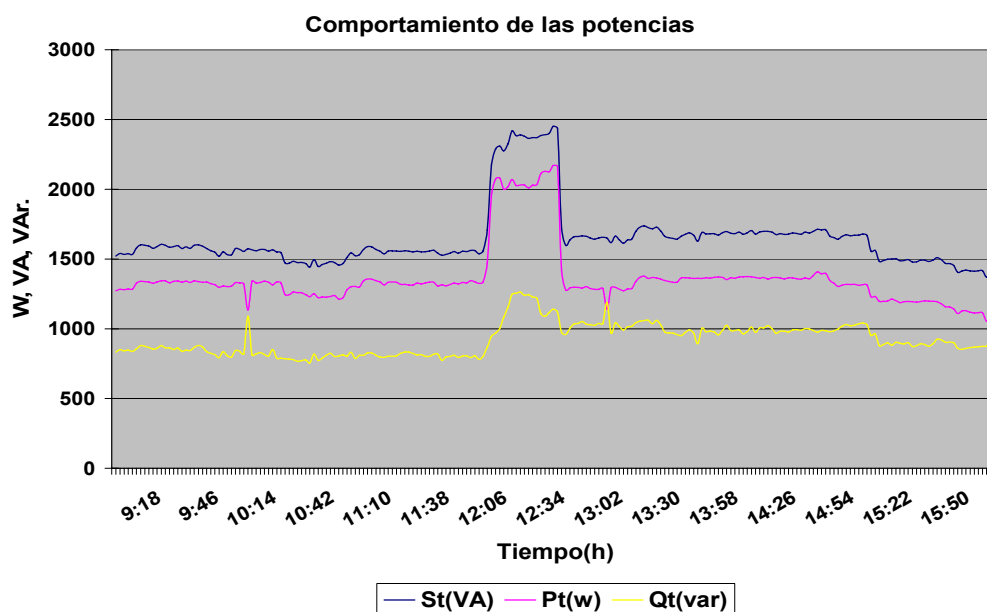
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	St(VA)	Pt(w)	Qt(VAr)	cos $\phi$
8:52	4.8	4.8	1.8	126.3	131.5	128.4	1520.52	1271.93	833.17	0.84
9:00	5.4	4.8	1.8	126.3	131.5	128.4	1532.46	1283.51	837.28	0.84
9:08	5.4	4.8	1.8	126	131.2	128.7	1591.81	1335.32	866.48	0.84
9:16	5.4	4.8	1.8	125.9	131.1	128.4	1597.97	1343.91	864.53	0.84
9:32	5.4	4.8	1.8	125.3	130.5	127.9	1601.33	1338.19	879.49	0.84
9:40	4.8	4.8	1.8	125	129.9	127.5	1548.68	1317.09	814.67	0.85
9:48	4.8	4.8	1.8	124.6	129.5	127	1530.80	1306.57	797.64	0.85
9:56	4.8	4.8	1.8	124.3	129.5	127	1573.49	1134.54	1090.27	0.72
10:04	4.8	4.8	1.8	124.4	129.6	127.2	1569.15	1340.70	815.33	0.85
10:12	4.8	4.8	1.8	124	129	126.6	1545.52	1328.43	789.88	0.86
10:28	4.8	4.8	1.8	124.6	129.5	127.2	1494.91	1251.53	817.57	0.84
10:36	4.8	4.8	1.8	124.4	129.3	126.9	1480.85	1230.94	823.23	0.83
10:44	4.8	4.8	1.8	124.4	129.5	126.9	1511.73	1279.31	805.42	0.85
10:52	4.8	4.8	1.8	124.7	129.9	127.3	1568.49	1343.37	809.64	0.86
11:00	4.8	4.8	1.8	124.3	129.6	127	1555.62	1335.43	797.86	0.86
11:08	4.8	4.8	1.8	124.3	129.6	126.9	1557.81	1333.37	805.54	0.86
11:16	4.8	4.8	1.8	124.3	129.9	127.2	1550.83	1314.76	822.48	0.85
11:24	5.4	4.8	1.8	124.1	129.6	126.9	1556.82	1333.74	803.01	0.86
11:48	4.8	4.8	1.8	124.3	129.6	126.9	1537.94	1325.29	780.30	0.86
11:56	9.1	4.2	4.2	123.8	129.5	126.6	2287.66	2072.69	968.17	0.91
12:04	9.7	4.2	4.8	127.1	132	129	2416.68	2070.15	1246.92	0.86
12:12	9.7	3.6	4.2	127.2	132.1	129.1	2364.04	2010.46	1243.68	0.85
12:20	9.1	4.2	4.2	126.8	132.7	129.5	2391.12	2127.97	1090.50	0.89
12:28	6	4.2	3	128.3	133.1	130.1	1720.64	1418.61	973.73	0.82
12:36	6	4.8	1.8	127.7	133.1	129.8	1661.53	1297.00	1038.50	0.78
12:44	6	4.2	1.8	127.5	132.8	129.5	1642.15	1283.26	1024.65	0.78
12:52	6	4.2	1.8	127.8	133.1	129.8	1618.16	1294.61	970.79	0.80
13:00	6	4.2	1.8	127.5	132.8	129.5	1637.58	1285.86	1014.02	0.79
13:16	6	4.8	1.8	127.7	133.6	130.1	1702.30	1355.88	1029.28	0.80
13:24	5.4	4.8	1.8	126.6	132.3	129.1	1642.31	1333.78	958.23	0.81
13:32	5.4	4.8	1.8	127.2	132.7	129.5	1669.92	1361.04	967.58	0.82
13:40	5.4	4.8	1.8	127.2	132.6	129.5	1681.57	1363.56	984.06	0.81
13:48	6	4.8	1.8	127.4	132.7	129.7	1697.16	1352.77	1024.87	0.80
13:56	5.4	4.8	1.8	127.7	133.1	130.1	1677.09	1372.64	963.58	0.82
14:04	6	4.8	1.8	127.4	132.7	129.8	1693.68	1361.60	1007.27	0.80
14:12	5.4	4.8	1.8	127.4	132.7	129.8	1675.76	1368.18	967.60	0.82
14:36	6	4.8	1.8	127.4	132.7	129.5	1709.34	1396.50	985.71	0.82
14:44	6	4.8	1.8	127.5	133	129.8	1661.80	1312.57	1019.19	0.79
14:52	6	4.8	1.8	127.5	132.8	129.8	1672.02	1312.47	1035.89	0.78
15:08	4.8	4.2	1.8	128.3	132.3	129.8	1499.43	1213.10	881.29	0.81
15:16	4.8	4.2	1.8	128.3	132.3	129.8	1496.84	1195.11	901.24	0.80
15:24	4.8	4.2	1.8	128.3	132.4	129.8	1492.21	1200.22	886.66	0.80
15:32	4.8	4.2	1.8	128.4	132.4	129.4	1496.77	1180.27	920.48	0.79
15:48	4.2	4.2	1.8	128.4	132.3	129.4	1412.61	1113.73	868.95	0.79
15:56	4.8	3.6	1.8	128.8	132.7	129.4	1431.88	1097.83	919.27	0.77
16:00	4.8	3.6	1.8	129	133.4	129.8	1470.13	1150.48	915.25	0.78

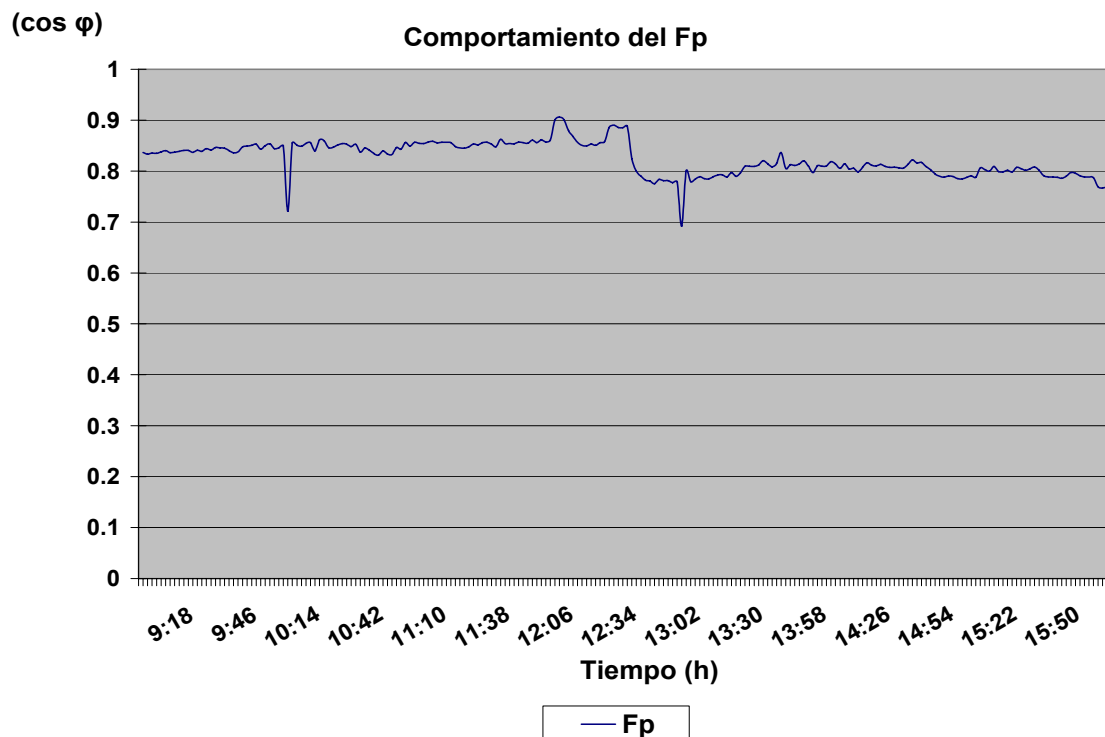
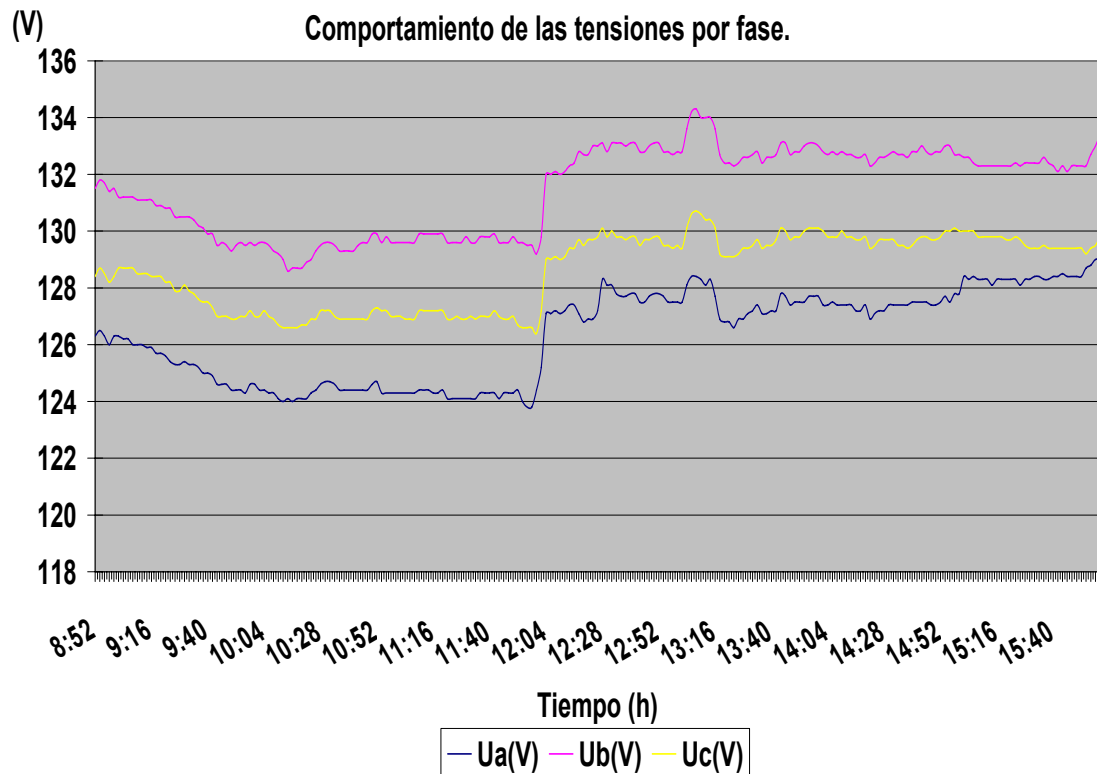
Tabla # 4 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 16 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta alumbrado y tomacorrientes del primer piso, desde cuerpo de guardia hasta la cocina del circuito normal, en este circuito no hay altos consumidores de energía solo algunos equipos que se conectan a los tomacorrientes.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 4.





### Anexo 1.5 Transformador # 6 50 kVA.

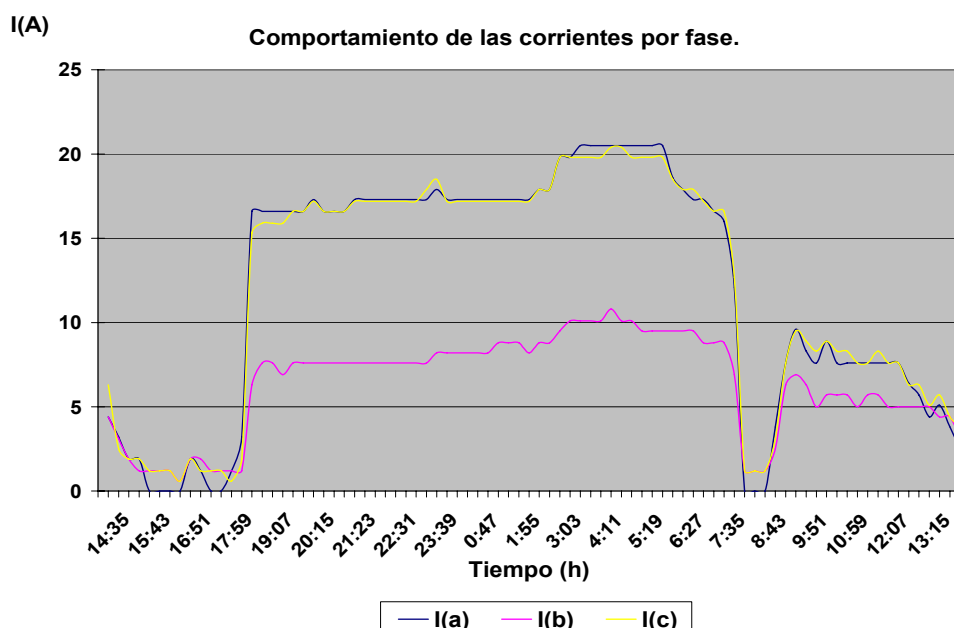
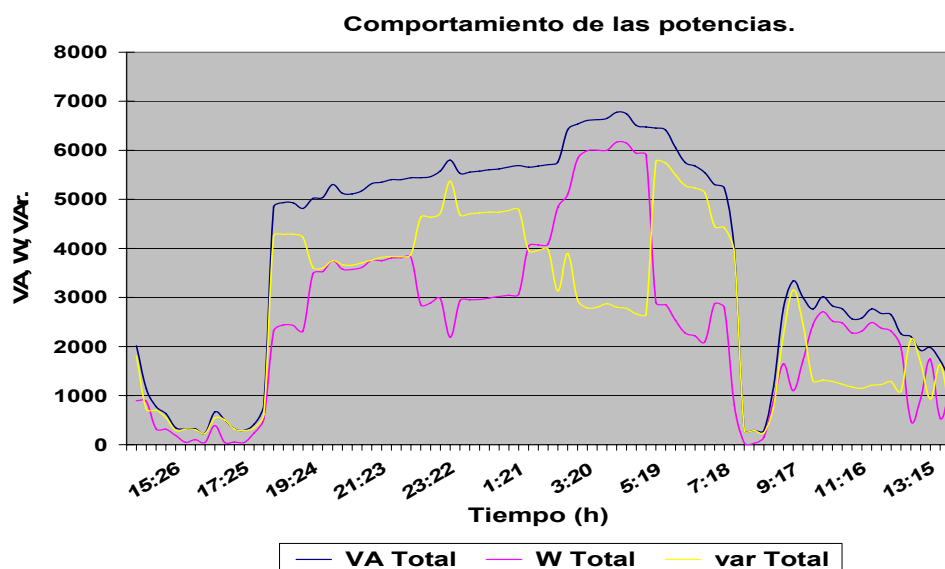
Hora	I(a)	I(b)	I(c)	U (a)	U (b)	U (c)	VA	W	Var	cos $\phi$
13:44	4.4	4.4	6.3	127.6	128.6	126.7	2015.9	894.1	1806.73	0.44
14:18	1.9	1.9	1.9	127.3	127.9	126.7	773.46	320	704.14	0.41
14:35	1.9	1.2	1.9	127.3	127.5	125.9	631.66	313.9	548.15	0.50
15:09	0	1.2	1.2	127.3	127.9	126.7	318.03	50.7	313.96	0.16
15:43	0	0.6	0.6	126.9	127.5	126.3	234.05	47.6	229.16	0.20
16:00	1.9	1.9	1.9	126.5	127.2	125.9	666.96	387.8	542.61	0.58
16:51	0	1.2	1.2	125.4	126.4	124.4	293.17	45.47	289.62	0.16
17:25	3.2	1.2	1.9	123.9	125	123	818.68	533.6	620.93	0.65
17:42	16.6	6.3	15.3	123.6	124.6	122.6	4843.6	2314	4255.12	0.48
18:16	16.6	7.6	15.9	122.8	123.9	121.8	4930.6	2429	4290.79	0.49
18:50	16.6	7.6	16.6	122.8	123.9	122.2	5017.8	3480	3614.63	0.69
19:07	16.6	7.6	16.6	123.2	124.6	122.6	5037.2	3525	3598.65	0.70
19:41	16.6	7.6	16.6	124.7	126.1	124.1	5123.8	3577	3668.71	0.70
20:15	16.6	7.6	16.6	124.7	126.1	124.4	5176.7	3615	3705.57	0.70
20:49	17.3	7.6	17.2	126.2	127.2	125.9	5348.7	3748	3816.26	0.70
21:06	17.3	7.6	17.2	126.2	127.5	125.9	5400.7	3803	3835.02	0.70
21:23	17.3	7.6	17.2	126.5	127.9	125.9	5402.6	3809	3831.16	0.71
21:57	17.3	7.6	17.2	126.9	128.3	126.7	5442.4	2851	4635.83	0.52
22:14	17.3	7.6	17.2	127.6	129	127.4	5464.2	2890	4637.33	0.53
22:31	17.3	7.6	17.9	127.6	129	127.8	5580.8	2978	4719.86	0.53
23:05	17.3	8.2	17.2	127.6	129	127.8	5530.5	2934	4688.23	0.53
23:39	17.3	8.2	17.2	128	129.4	128.1	5574.3	2961	4722.94	0.53
0:13	17.3	8.2	17.2	128	129.4	128.1	5621	3021	4740.19	0.54
0:30	17.3	8.8	17.2	128.4	129.7	128.5	5660.2	3046	4770.76	0.54
1:04	17.3	8.8	17.2	128.4	129.7	128.5	5657.6	4044	3956.27	0.71
1:38	17.9	8.8	17.9	129.1	130.5	129.3	5710.1	4093	3981.54	0.72
2:12	19.8	9.5	19.8	129.1	130.5	129.3	6421.1	5102	3899.07	0.79
2:29	19.8	10.1	19.8	128.7	130.5	129.3	6532.4	5828	2949.84	0.89
3:03	20.5	10.1	19.8	129.5	131.2	129.6	6624.7	6002	2803.47	0.91
3:54	20.5	10.1	20.4	129.5	131.2	130	6743.6	6145	2777.80	0.91
4:11	20.5	10.1	19.8	127.6	129	127.8	6506.2	5934	2668.12	0.91
4:45	20.5	9.5	19.8	127.6	129	127.4	6454.9	2896	5768.66	0.45
5:19	18.6	9.5	18.5	127.3	128.6	127	6054.5	2535	5498.07	0.42
5:53	17.3	9.5	17.9	126.2	127.5	125.9	5679.6	2217	5229.10	0.39
6:27	16.6	8.8	16.6	123.9	125	123.7	5298.3	2877	4449.05	0.54
6:44	16	8.8	16.6	124.3	125.3	124.1	5225.7	2785	4421.84	0.53
7:01	12.1	6.9	12.7	124.3	125.3	124.1	4003.6	808.1	3921.20	0.20
7:52	0	1.2	1.2	125.1	125.7	124.4	284.67	150.7	241.50	0.53
8:09	3.8	2.5	3.1	125.8	126.4	125.5	1190.1	903.8	774.23	0.76
8:26	7.6	6.3	7.6	126.2	126.8	125.5	2783	1648	2242.55	0.59
9:34	8.9	5.7	8.9	125.4	126.4	125.2	3014.5	2711	1318.93	0.90
10:42	7.6	5.7	7.6	125.1	125.3	124.1	2583.1	2314	1147.54	0.90
11:16	7.6	5	7.6	126.5	126.8	125.2	2671.7	2375	1223.77	0.89
12:07	5.7	5	6.3	126.9	127.5	125.9	2203.6	481.7	2150.33	0.22
12:24	4.4	5	5.1	127.3	127.5	126.3	1919.2	936.2	1675.40	0.49

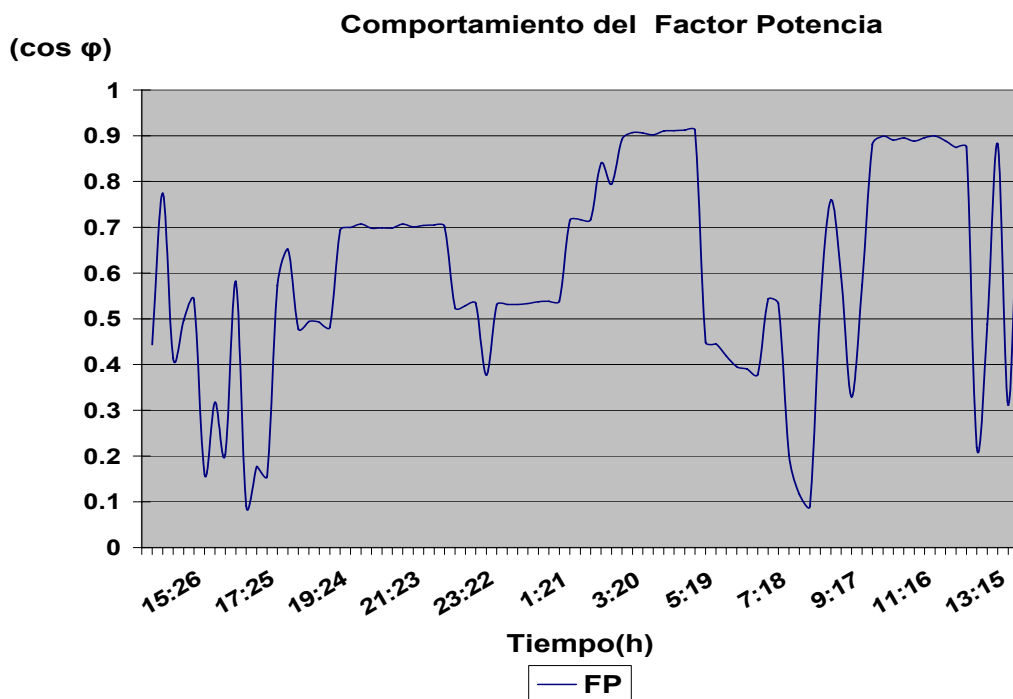
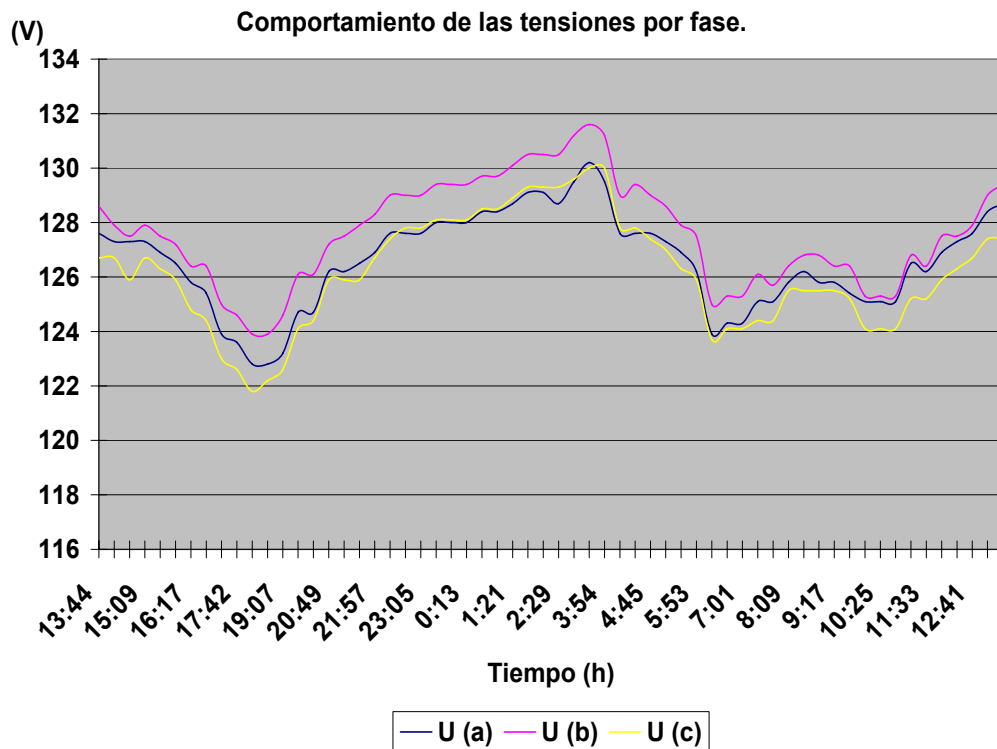
Tabla # 5 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 50 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este alimenta equipos de rayos X y alumbrado exterior. El equipo de RX se pasa el día trabajando hasta por la noche si aparece algún caso. Este equipo consume en el momento de la placa hasta 45 Kw. y luego consume 125 Kw. A este también se encuentran conectados los equipos de climatización del (TAC) Tomógrafo axial computarizado.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 5.





## Anexo 1.6 Transformador # 7 50 KVA.

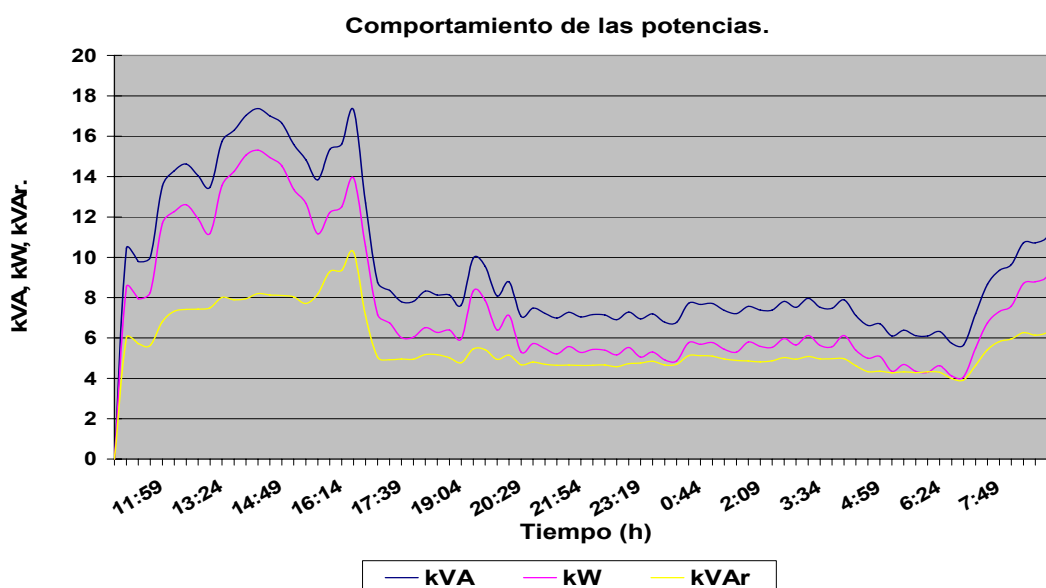
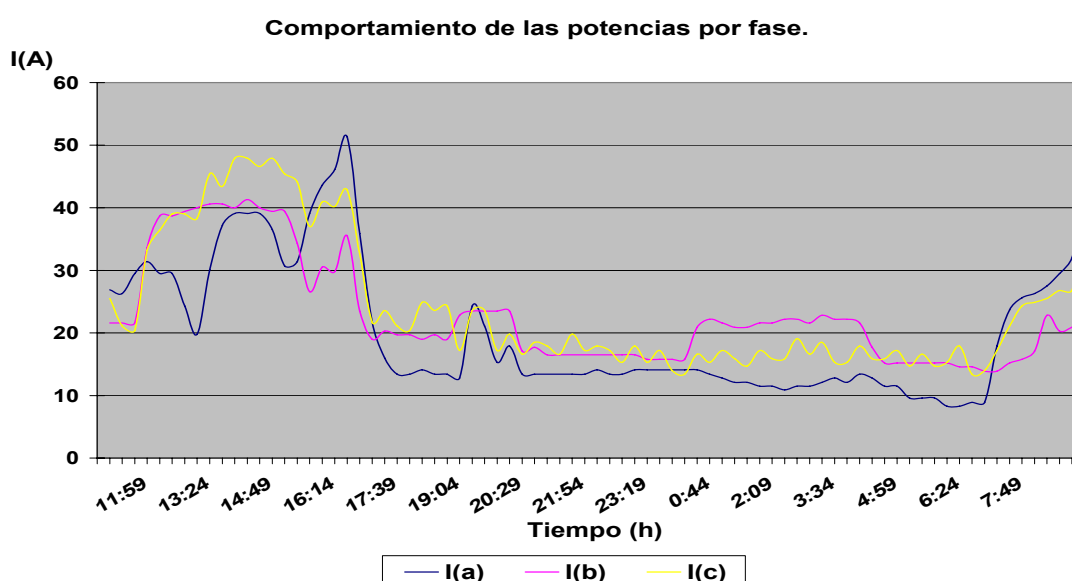
Hora	I(a)	I(b)	I(c)	U (a)	U (b)	U (c)	kW	kVA	kVAr	cos $\varphi$
10:51	26.9	21.6	25.5	126.9	126.1	126.3	10.44	8.53	6.02	0.82
11:08	26.3	21.6	21.1	125.8	124.6	125.2	9.79	7.94	5.73	0.81
11:25	29.5	21.6	20.4	125.4	124.2	124.8	10	8.26	5.64	0.83
11:42	31.4	33.6	33.2	126.5	125.7	125.5	13.53	11.69	6.81	0.86
12:16	29.5	38.7	39	127.6	126.4	126.3	14.62	12.6	7.42	0.86
12:50	19.8	40	38.3	127.6	126.4	125.9	13.47	11.19	7.50	0.83
13:07	30.1	40.6	45.4	126.9	126.1	125.5	15.74	13.55	8.01	0.86
13:41	39.1	40	47.9	125.4	125.7	125.2	17.03	15.06	7.95	0.88
14:15	39.1	40	46.6	126.2	126.4	125.5	17.01	14.94	8.13	0.88
14:49	30.7	39.4	45.4	126.2	125.7	125.2	15.59	13.36	8.03	0.86
15:23	39.1	26.6	37	125.8	125	124.8	13.84	11.16	8.19	0.81
15:40	43.6	30.5	40.9	124.7	123.9	124.1	15.34	12.21	9.29	0.80
15:57	46.1	29.8	40.2	124.7	124.6	124.4	15.61	12.5	9.35	0.80
16:14	51.3	35.5	42.8	125.8	125	125.2	17.3	13.93	10.26	0.81
16:31	35.9	23.5	32.6	126.5	125.7	125.9	12.69	10.52	7.10	0.83
17:05	16	20.3	23.6	123.6	122.4	122.2	8.36	6.75	4.93	0.81
17:39	13.4	19.7	20.4	125.8	124.6	124.4	7.81	6.04	4.95	0.77
18:13	13.4	19.7	23.6	125.1	124.2	124.1	8.13	6.27	5.18	0.77
18:30	13.4	19	24.3	123.9	122.8	122.6	8.13	6.39	5.03	0.79
19:04	24.3	23.5	23.6	124.7	123.9	123.7	9.96	8.33	5.46	0.84
19:21	21.1	23.5	23.6	125.8	125	124.8	9.55	7.86	5.42	0.82
20:12	13.4	17.1	16.6	126.9	126.1	125.9	7.07	5.3	4.68	0.75
20:46	13.4	16.5	17.9	127.3	126.8	126.3	7.22	5.48	4.70	0.76
21:20	13.4	16.5	19.8	126.2	126.1	125.2	7.27	5.58	4.66	0.77
21:54	14.1	16.5	17.9	127.3	126.8	126.3	7.16	5.44	4.66	0.76
22:11	13.4	16.5	17.2	127.6	127.2	126.3	7.14	5.4	4.67	0.76
22:28	13.4	16.5	15.3	128	127.5	127	6.91	5.17	4.58	0.75
23:02	14.1	15.8	15.3	129.1	128.6	128.1	6.95	5.06	4.76	0.73
23:19	14.1	15.8	17.2	129.1	129	128.1	7.19	5.31	4.85	0.74
23:36	14.1	15.8	14	129.9	129.4	128.5	6.78	4.92	4.66	0.73
0:10	14.1	20.9	16.6	129.1	128.6	128.1	7.72	5.77	5.13	0.75
0:27	13.4	22.2	15.3	128.7	128.3	127.4	7.66	5.69	5.13	0.74
1:01	12.1	20.9	15.9	129.1	128.6	127.8	7.37	5.45	4.96	0.74
1:35	11.5	21.6	17.2	128.4	127.5	127	7.57	5.8	4.86	0.77
2:09	10.9	22.2	15.9	128.7	128.3	127.4	7.38	5.54	4.88	0.75
2:43	11.5	21.6	16.6	128.7	128.3	127.4	7.52	5.66	4.95	0.75
3:00	12.1	22.8	18.5	129.1	128.6	127.8	7.96	6.12	5.09	0.77
3:17	12.8	22.2	15.3	129.1	128.6	127.8	7.52	5.64	4.97	0.75
3:34	12.1	22.2	15.3	129.1	128.6	127.8	7.47	5.57	4.98	0.75
4:25	11.5	15.2	15.9	129.1	128.6	127.8	6.62	5	4.34	0.76
5:33	9.6	15.2	14.7	129.5	129	128.1	6.11	4.35	4.29	0.71
6:07	8.3	14.6	17.9	128.4	127.9	127	6.32	4.63	4.30	0.73
6:24	8.9	14.6	13.4	127.3	126.8	126.3	5.74	4.12	4.00	0.72
7:32	25.6	15.8	24.3	126.9	126.4	126.3	9.35	7.31	5.83	0.78
8:06	27.5	22.8	25.5	127.6	126.8	127	10.72	8.7	6.26	0.81

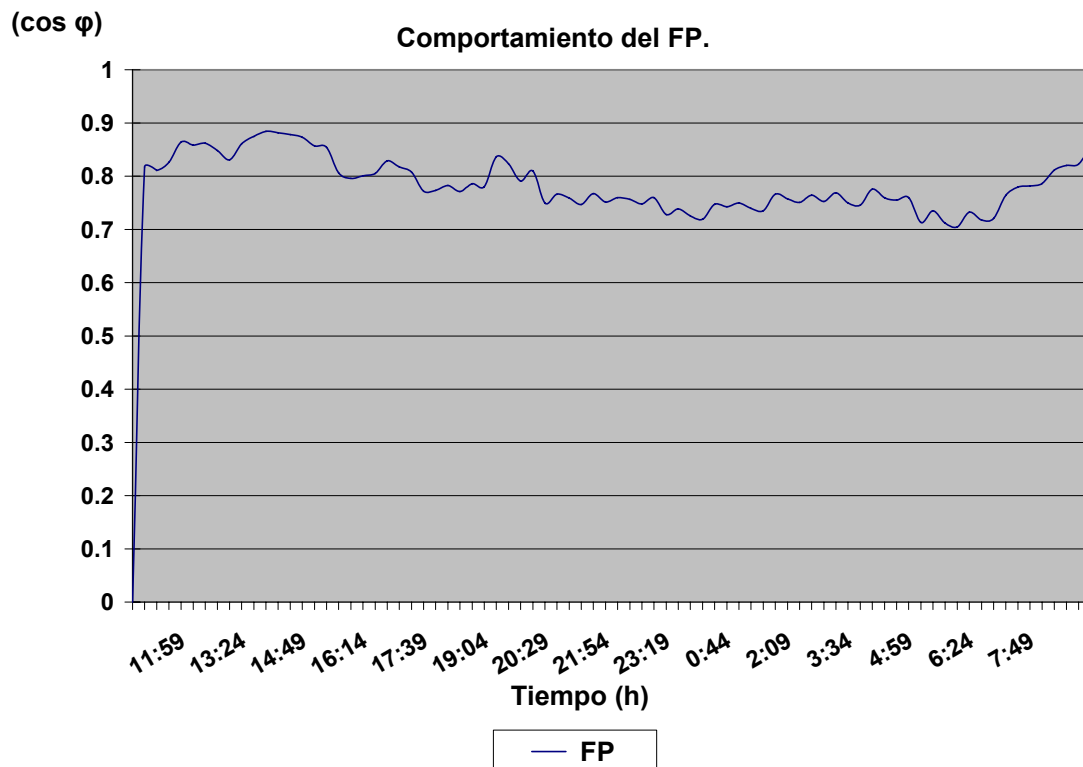
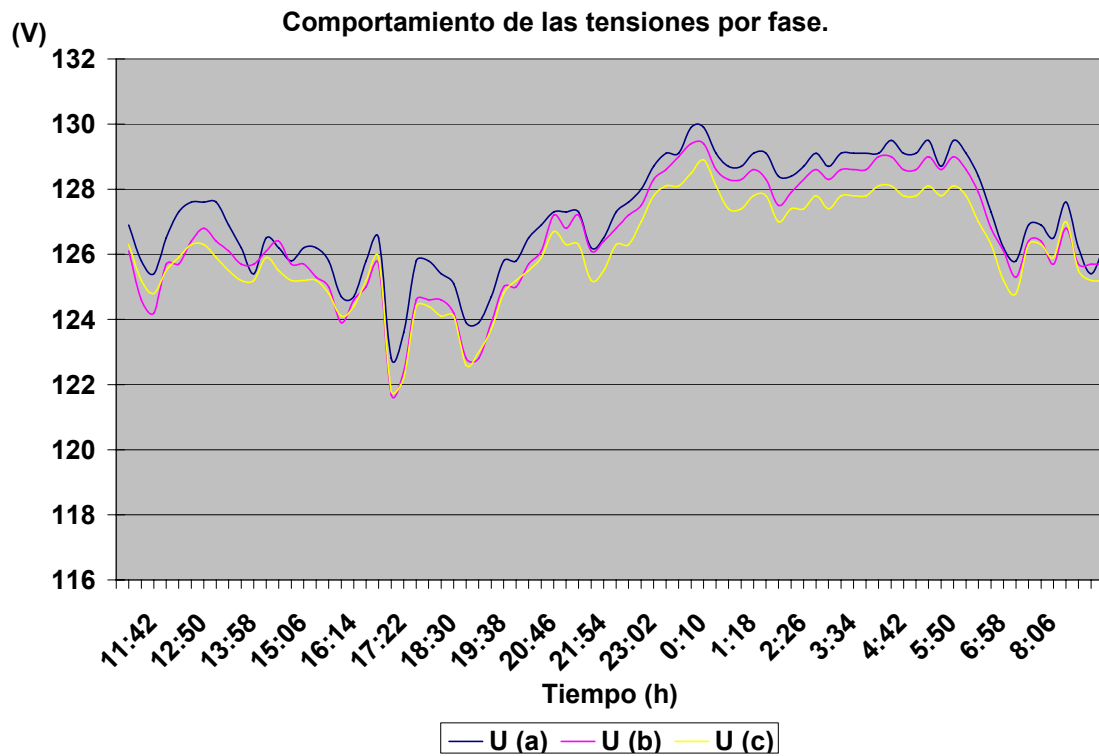
Tabla # 6 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 45 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este alimenta alumbrado y tomacorriente del primer piso desde cuerpo de guardia, el TAC y hasta la cocina este pertenece al circuito de emergencia, también se incluyen las consolas del piso, la mayoría de las luminarias pertenecen a este circuito debido a que siempre esta energizado.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 6.





#### Anexo 1.7 Transformador # 8 37 kVA.

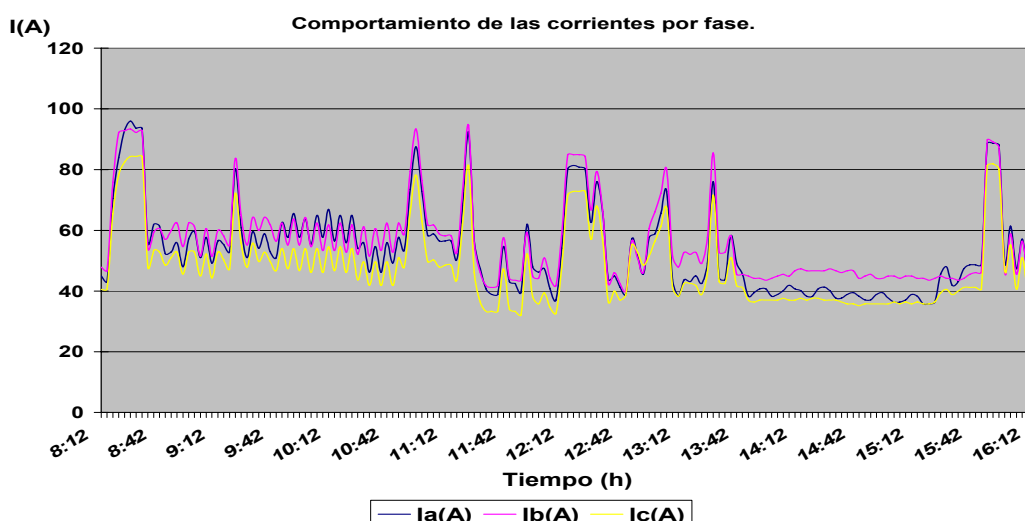
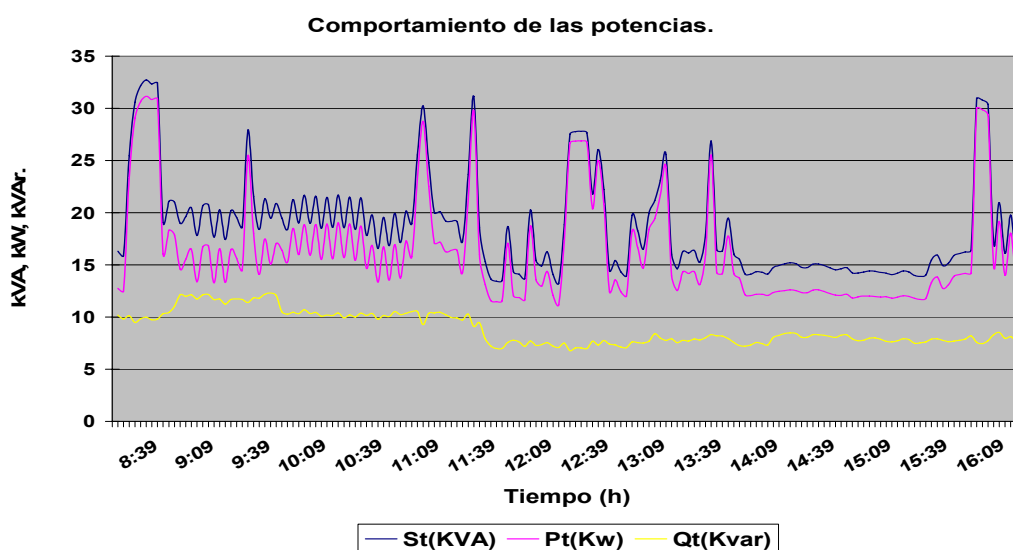
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Kw	KVAr	KVA	cos $\phi$
8:12	45	47.9	40.6	120.9	121.1	124.1	16.31	12.74	10.18	0.78
8:27	96	93.4	84.3	118.2	117.6	122	32.72	31.16	9.98	0.95
8:42	61.4	60.6	52.8	118.8	118.2	122.9	21	17.86	11.05	0.85
8:57	57.1	62.4	52.8	118.7	117.9	122.3	20.65	16.71	12.13	0.81
9:12	56.5	60	52.8	117.8	117.6	120.9	20.18	16.45	11.69	0.82
9:27	51	55.2	47.9	117.6	118	121.1	18.38	14.08	11.81	0.77
9:42	51	56.4	46.7	118.2	116.9	121.8	18.38	15.24	10.27	0.83
9:57	63.8	64.3	54	116.4	116.3	121.5	21.57	18.87	10.45	0.87
10:12	56.5	53.3	46.7	116.3	117.6	121.1	18.57	15.69	9.93	0.84
10:27	55.9	61.2	49.7	116.4	117.8	121.4	19.78	16.86	10.34	0.85
10:42	49.2	52.7	41.8	116.4	117.3	121.5	17.13	13.73	10.24	0.80
10:57	72.9	76.4	63.1	115	115.3	119.9	24.81	22.54	10.37	0.91
11:12	56.5	58.2	48.5	115.1	116.9	119.8	19.17	16.41	9.91	0.86
11:27	47.4	46.1	36.4	115.3	117.2	120.9	15.31	13.11	7.91	0.86
11:42	43.1	44.2	34	115.1	116.4	121.1	14.35	12.05	7.79	0.84
11:57	46.2	44.2	35.8	115.6	115.8	121.5	14.9	12.95	7.37	0.87
12:12	80.2	84.9	71.6	115.6	113.9	119.6	27.52	26.67	6.79	0.97
12:27	76	79.4	68	116	114.1	119.5	26.06	25.01	7.32	0.96
12:42	38.9	40	38.8	119	115.3	120.1	13.95	12.02	7.08	0.86
12:57	58.9	66.1	56.4	116.4	114.7	119.2	21.17	19.43	8.40	0.92
13:12	43.7	52.7	42.5	116.6	114.2	120.2	16.3	14.33	7.77	0.88
13:27	76	85.5	71.6	115.4	112.9	118.9	26.87	25.55	8.32	0.95
13:42	45.6	45.5	41.2	116.4	115.3	119.6	15.53	13.72	7.28	0.88
13:57	38.3	44.2	37	117	115.8	119.9	14.12	12.07	7.33	0.85
14:12	40.1	47.3	37.6	120	118.3	123.9	15.11	12.54	8.43	0.83
14:27	40.1	47.3	37	119	117.9	122.9	14.94	12.45	8.26	0.83
14:42	38.3	44.2	35.2	119.2	118.5	123.5	14.23	11.83	7.91	0.83
14:57	37.7	44.9	35.8	119	118.2	123.3	14.28	11.92	7.86	0.83
15:12	38.3	44.2	36.4	118.7	118.2	122.7	14.32	11.98	7.84	0.84
15:27	48	44.2	40.6	117.8	117.6	122	15.93	13.83	7.91	0.87
15:30	41.9	44.2	38.8	118.5	117	122.1	14.93	12.75	7.77	0.85
15:33	43.1	43.6	40	118.4	116.6	121.5	15.17	13.1	7.65	0.86
15:36	47.4	44.2	41.2	117.6	116.9	121.5	15.91	13.92	7.70	0.87
15:39	48.6	45.5	41.2	117.2	116.9	121.5	16.09	14.08	7.79	0.88
15:42	48.6	46.1	41.2	117.3	117.2	122.3	16.24	14.19	7.90	0.87
15:45	48.6	46.1	40.6	119	118.6	123.6	16.39	14.2	8.18	0.87
15:48	88.7	89.8	81.3	118.5	116.1	121.7	30.95	30.01	7.57	0.97
15:51	88.7	89.1	81.9	118.4	115.8	121.2	30.78	29.86	7.47	0.97
15:54	88.1	87.3	80.1	118.1	116.1	121.7	30.37	29.37	7.73	0.97
15:57	49.2	46.1	46.7	120.3	116.9	122.6	17.05	14.89	8.31	0.87
16:00	61.4	58.8	55.2	118.8	117.2	122.6	20.98	19.17	8.52	0.91
16:03	47.4	45.5	40.6	118.8	118	123.3	16.12	14.01	7.97	0.87
16:06	57.1	56.4	51	119.2	117.6	122.9	19.78	18.03	8.13	0.91
16:09	46.2	45.5	40.6	119.5	118	123.3	16.01	14	7.77	0.87
16:12	58.3	56.4	51.6	118.8	117.6	122.7	20.03	18.23	8.30	0.91

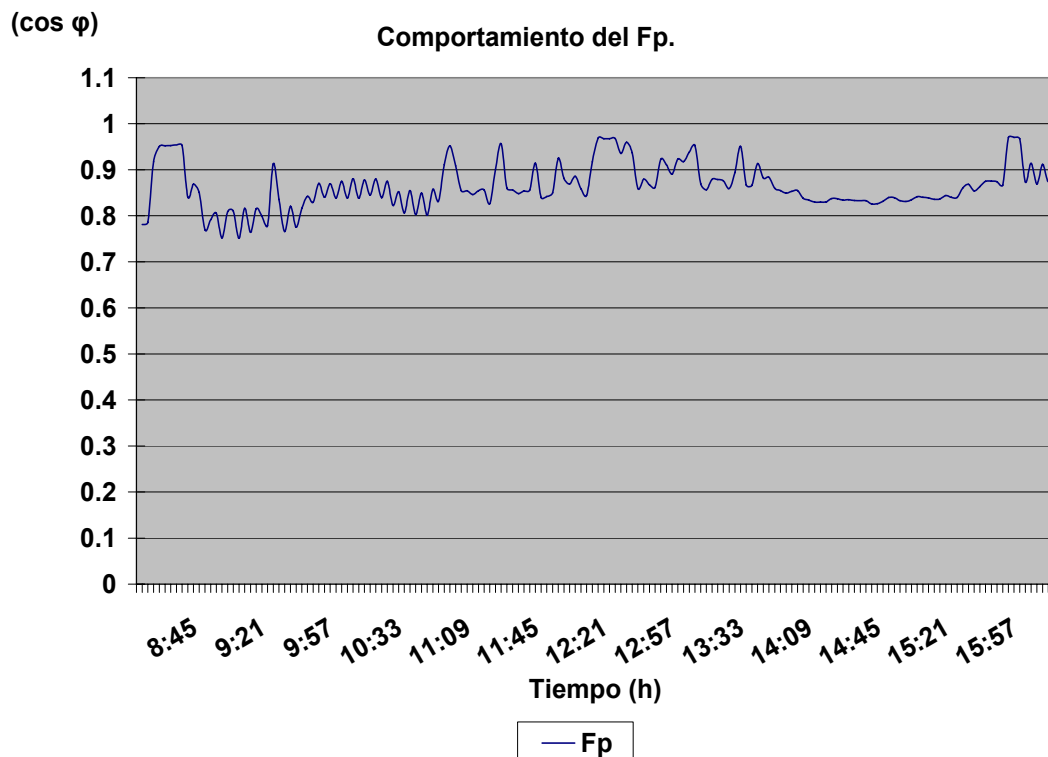
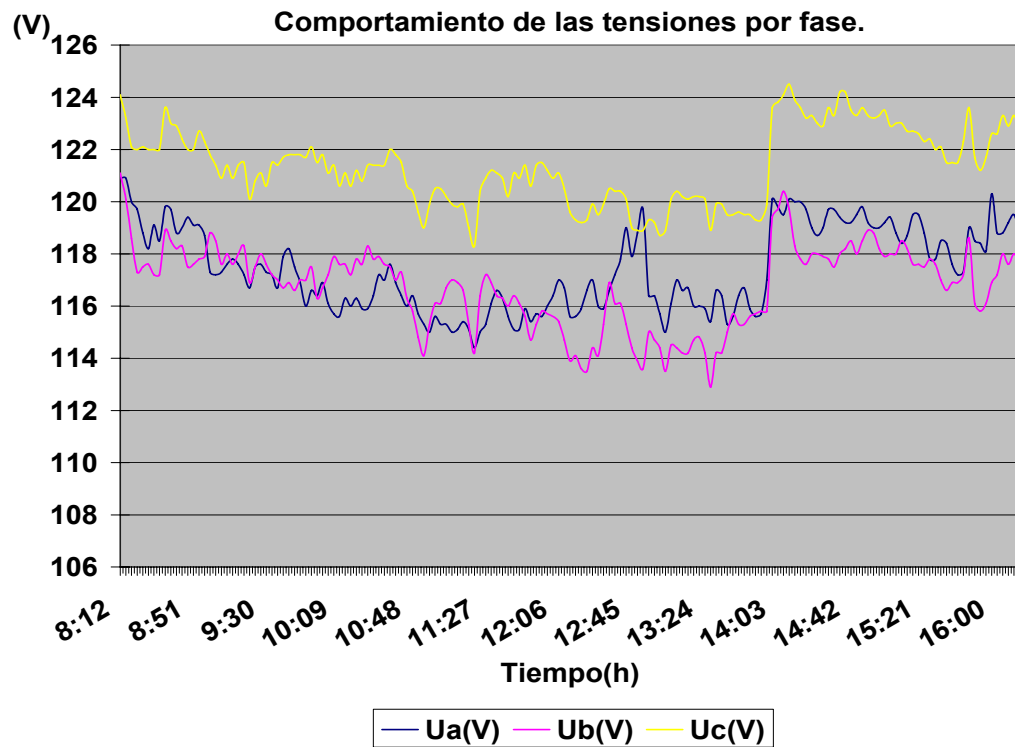
Tabla # 7 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 37 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

. Alimenta a las salas de terapias, ortopedia, quemados, oficinas de las zonas 1 y 2. La autoclave se puso en cuatro ocasiones en el día y la misma consume 21 Kw. Luego de hacer un estudio anteriormente la carga de climatización se le puso a un transformador nuevo que se colocó en este mismo cuarto que es de 16 KVA.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 7.





Anexo 1.8 Transformador # 9 16 KVA.

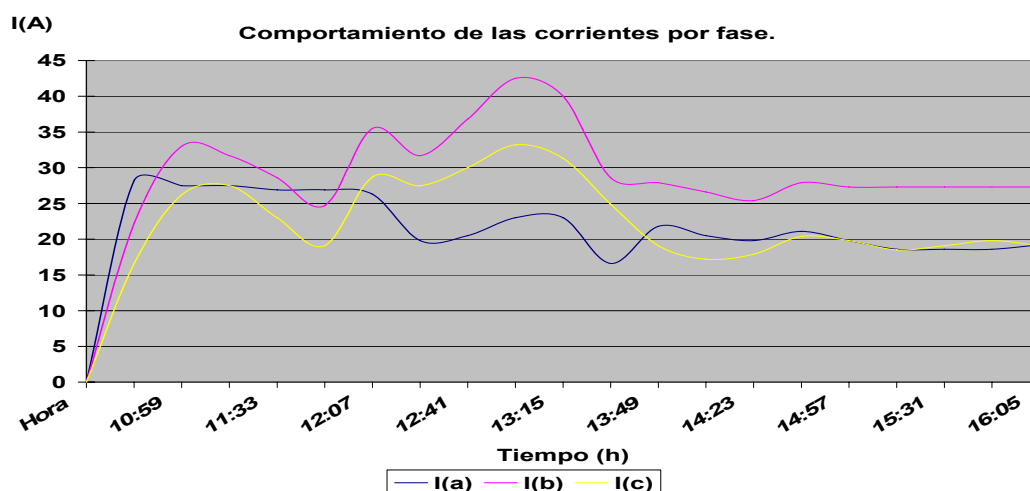
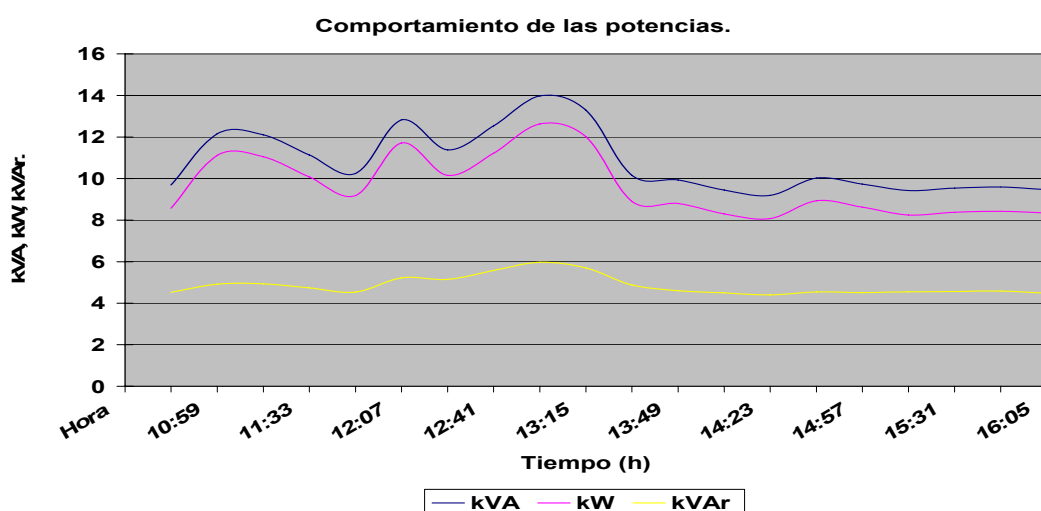
Hora	I(a)	I(b)	I(c)	U (a)	U (b)	U (c)	kW	kVA	VA <sub>r</sub>	cos φ
10:42	28.2	22.2	16.6	127.3	128.6	128.9	9.69	8.57	4.52	0.88
10:59	27.5	33	26.2	126.9	127.9	125.9	12.16	11.12	4.92	0.91
11:16	27.5	31.7	27.5	127.3	129	125.9	12.1	11.05	4.93	0.91
11:33	26.9	28.6	23	128	130.1	128.5	11.13	10.07	4.74	0.90
11:50	26.9	24.7	19.1	128.4	130.1	129.3	10.24	9.18	4.54	0.90
12:07	26.3	35.5	28.7	129.1	130.8	128.1	12.82	11.71	5.22	0.91
12:24	19.8	31.7	27.5	130.2	132.7	127.8	11.38	10.15	5.15	0.89
12:41	20.5	36.8	30	131	132.3	127.4	12.53	11.22	5.58	0.90
12:58	23	42.5	33.2	131.3	132.3	127.8	13.97	12.63	5.97	0.90
13:15	23	40	31.3	129.5	130.5	126.3	13.29	12.01	5.69	0.90
13:32	16.6	28.6	24.9	129.5	131.2	127.4	10.15	8.9	4.88	0.88
13:49	21.8	27.9	19.1	129.9	130.8	127	9.93	8.8	4.60	0.89
14:06	20.5	26.6	17.2	129.9	130.8	127	9.44	8.3	4.50	0.88
14:23	19.8	25.4	17.9	129.9	130.8	126.7	9.19	8.07	4.40	0.88
14:40	21.1	27.9	20.4	129.1	130.5	125.9	10.02	8.93	4.54	0.89
14:57	19.8	27.3	19.8	129.1	130.5	127.4	9.73	8.62	4.51	0.89
15:14	18.6	27.3	18.5	129.1	130.5	128.1	9.42	8.25	4.55	0.88
15:31	18.6	27.3	19.1	129.1	130.5	127.8	9.54	8.38	4.56	0.88
15:48	18.6	27.3	19.8	128.7	130.1	127.4	9.59	8.42	4.59	0.88
16:05	19.2	27.3	19.1	128.4	129.4	127	9.47	8.34	4.49	0.88

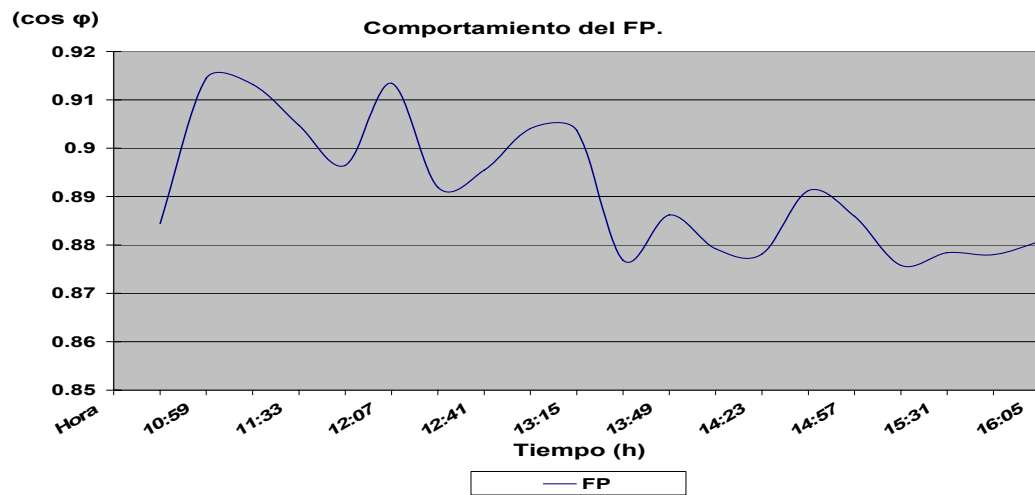
Tabla # 8 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 16 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta a los equipos de climatización de terapia, cardiología y prematuros, el mismo se puso nuevo luego de un estudio energético porque el que está en ese cuarto que es de 37 KVA se encontraba en ocasiones sobrecargado y se le quito la carga de climatización y se le puso a este.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 8.





#### Anexo 1.9 Transformador 10 16 kVA.

Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(var)	St(VA)	cos $\phi$
9:14	12.7	5.4	6.6	120.4	119.7	117.4	2607.41	1133.32	2977.75	0.87
9:24	12.1	5.4	9.1	120.1	119.7	117.2	2757.79	1325.06	3215.86	0.85
9:34	12.1	5.4	9.1	121.2	120.7	118	2805.63	1367.41	3274.21	0.85
9:44	12.1	5.4	6.6	120.6	120.1	117.5	2632.77	1141.44	3001.33	0.87
9:54	12.1	5.4	6.6	119.8	119.4	116.8	2610.84	1099.36	2961.22	0.88
10:04	12.1	5.4	9.1	119.7	119.2	116.8	2757.98	1296.21	3201.46	0.86
10:14	12.1	12.7	9.1	119.7	119.1	116.6	3645.76	1316.87	4080.48	0.89
10:24	12.1	12.7	6.6	119.7	119.1	116.9	3496.03	1116.55	3837.93	0.91
10:34	12.1	12.7	6.6	119.7	119.1	116.9	3498.38	1112.27	3838.65	0.91
10:44	12.1	9.7	9.1	119.8	119.2	116.9	3234.19	1293.08	3669.52	0.88
10:54	12.1	5.4	9.1	119.5	119.2	116.6	2777.25	1296.25	3215.25	0.86
11:04	11.5	5.4	6.6	119.5	119.1	116.6	2556.36	1083.16	2906.4	0.87
11:14	11.5	6	6	119.4	119.1	116.6	2552.71	1094.06	2885.75	0.88
11:24	12.1	6	7.8	119.4	118.9	116.6	2754.9	1237.73	3136.78	0.87
11:34	12.1	6	9.7	119.5	119.1	116.6	2884.45	1447.22	3371.56	0.85
11:44	12.1	6	7.2	119.7	119.1	116.8	2726.04	1241.28	3116.71	0.87
11:54	12.1	6	7.8	119.8	119.4	116.9	2718.12	1262.76	3123.92	0.87
12:04	10.9	6	6.6	119.8	119.2	116.9	2523.61	1173.07	2906.99	0.86
12:14	10.9	9.7	9.1	119.8	119.2	116.9	3106.11	1318.71	3572.67	0.86
12:24	10.9	6.6	9.7	120	119.5	117.1	2790.18	1349.5	3269.71	0.85
12:34	10.9	7.2	6.6	120.1	119.5	117.4	2644.4	1138.64	3027.38	0.87
12:44	12.1	4.8	6.6	120	119.5	117.2	2457.47	1269.76	2896.59	0.84
12:54	10.9	4.8	8.5	120.1	119.5	117.4	2547.06	1228.32	2980.15	0.85
13:04	10.9	4.2	8.5	120.3	119.7	117.5	2505.55	1187.84	2952.35	0.84
13:14	10.9	4.2	6	120.3	119.7	117.7	2266.87	935.16	2612.24	0.86
13:24	12.1	4.2	6	120.4	119.8	117.7	2310.86	1028.79	2695.81	0.85
13:34	11.5	4.2	7.8	120.4	119.8	117.7	2469.07	1213.08	2935.86	0.84
13:44	12.1	4.2	8.5	121.3	120.5	118.6	2531.27	1293.08	3028.15	0.83
13:54	12.1	4.2	6	121.5	120.7	118.7	2329.62	1082.02	2738.94	0.85
14:04	12.1	4.2	6	121.6	120.8	118.9	2335.97	1099.69	2752.76	0.84
14:14	12.1	4.2	6	121.8	121	119	2339.34	1097.13	2754.78	0.84
14:24	10.9	4.2	8.5	121.8	120.8	118.9	2446.88	1124.64	2855.22	0.85
14:34	11.5	4.2	8.5	121.9	121	118.9	2504.36	1222.98	2962.77	0.84
14:44	12.7	4.2	6	121.8	121	119	2422.4	1132.19	2855.81	0.84
14:54	11.5	4.2	6	121.8	121	119	2328.22	1003.89	2690.81	0.86
15:04	11.5	4.8	7.2	121.9	121.1	119	2497.19	1244.28	2903.1	0.86
15:14	9.7	4.2	7.2	122.1	121.1	119	2284.22	1117.33	2651.7	0.86
15:24	9.7	4.8	6	122.1	121.3	119	2175.54	988.2	2495.04	0.87
15:34	10.3	4.2	5.4	120.6	119.8	117.7	2148.67	918.08	2439.33	0.88
15:44	12.1	4.2	6	120.6	119.9	117.7	2377.02	1134.1	2736.64	0.86
15:46	12.1	4.2	6.6	120.6	119.9	117.7	2419.69	1167.47	2792.03	0.86
15:48	12.1	4.2	8.5	120.7	120.1	117.7	2575.92	1352.9	3023.93	0.85
15:50	12.1	4.2	9.7	120.6	120.1	117.5	2660.35	1438.84	3144.14	0.84
15:52	12.7	4.2	9.7	120.7	120.1	117.5	2709.82	1494.38	3216.52	0.84

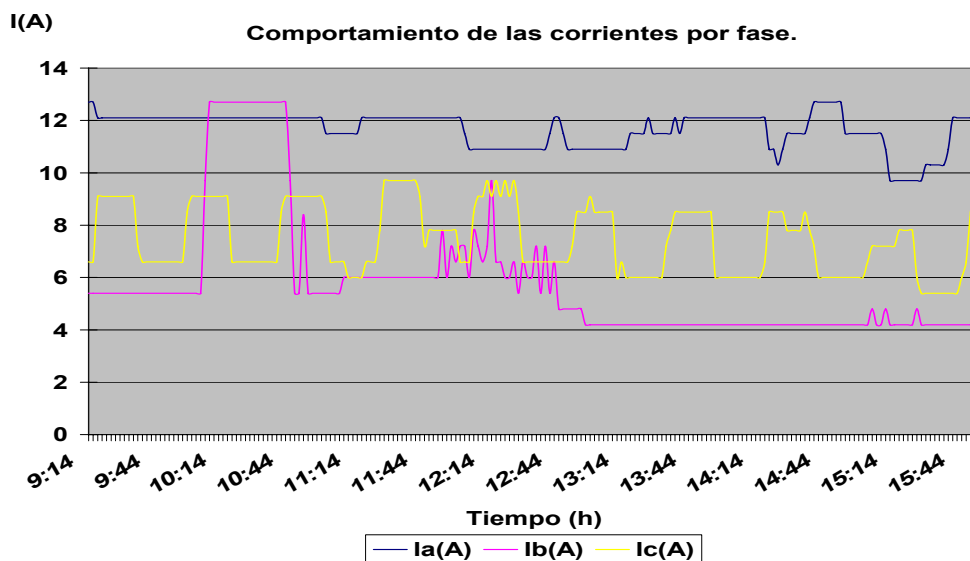
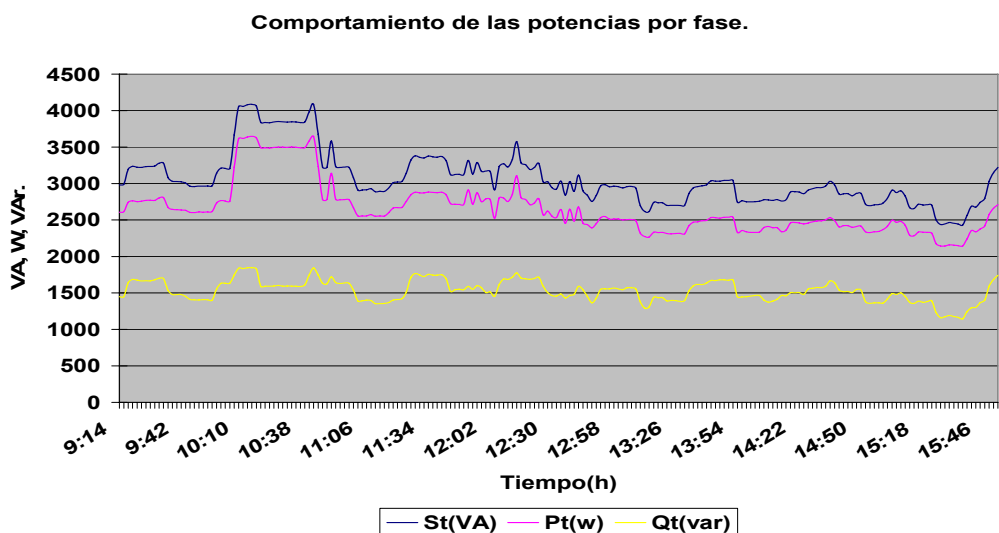
Tabla # 9 Mediciones del sistema.

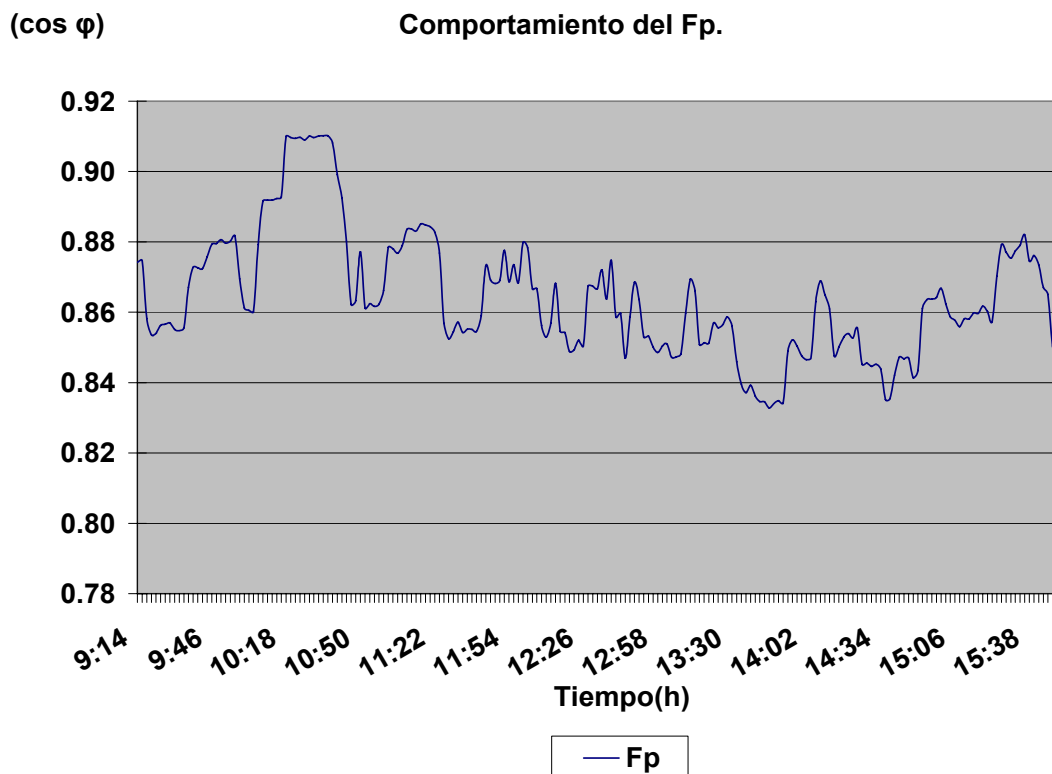
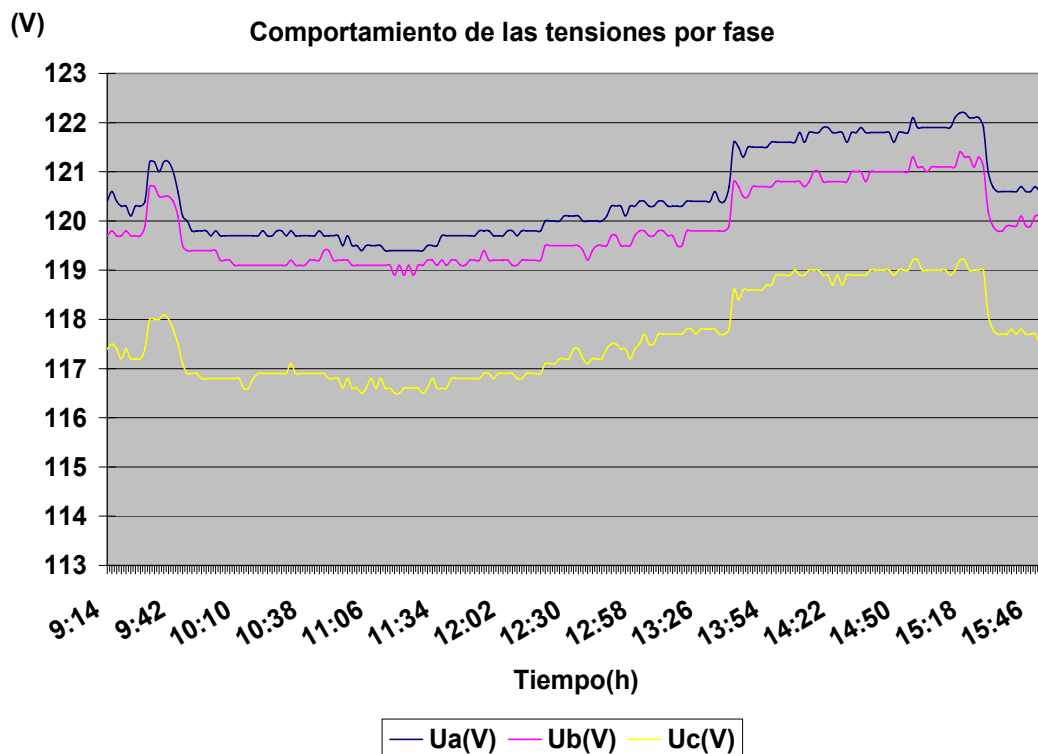
Este transformador es de 16 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Alimenta a cardiología, prematuros, circuito normal. aparente de 250 VA y 50/60 Hz, además cuenta con un laboratorio donde

Los equipos que se encuentran en el laboratorio son un gasómetro que permanece encendido, una incubadora, un refrigerador, un medidor de hemoglobina, dos centrifugas y un aire bk-1500. La temperatura de este local es de 24 oC. En el comedor de la sala hay un refrigerador. En general entre todos los cubículos existen tres aires acondicionados.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 9.





Anexo 1.10 Transformador # 11 16 KVA.

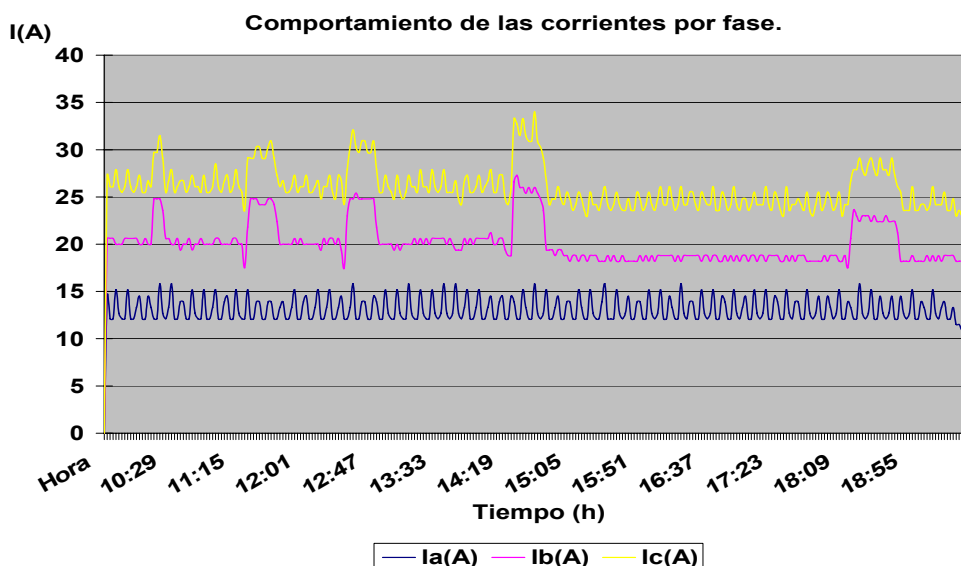
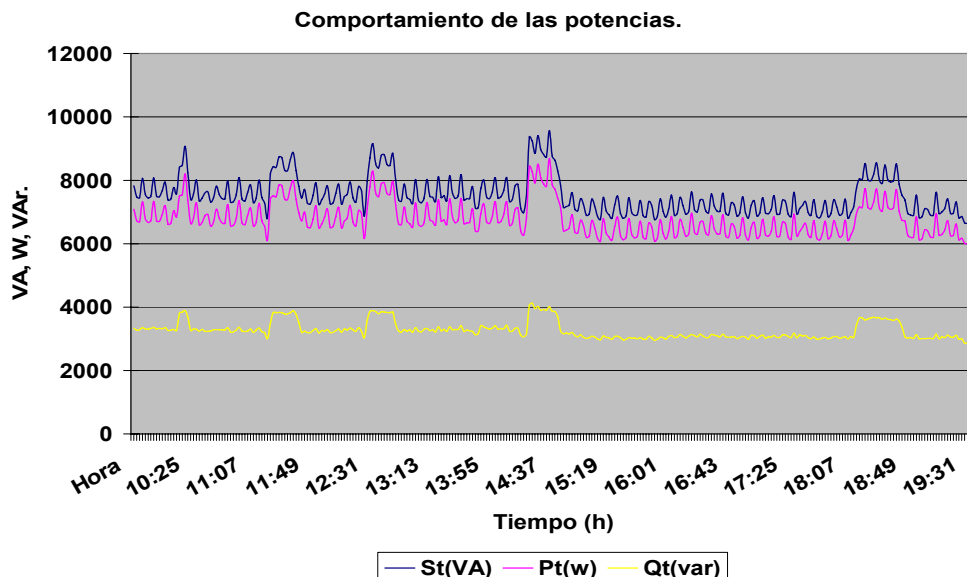
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(var)	St(VA)	cos $\phi$
9:45	14.5	20.6	27.3	126.3	127.6	126.3	7086.37	1706.3	7829.29	0.9
10:01	12.1	20.6	26.1	127.7	128.4	127.5	6725.65	1682	7497.42	0.89
10:15	13.3	20	26.1	126.2	127.4	126.4	6840.24	1667.6	7578.99	0.9
10:31	12.1	20	25.5	126	127	126.1	6596.66	1662.8	7350.17	0.89
10:45	12.7	20	26.1	126.6	127.7	126.9	6801.78	1693.8	7553.33	0.9
11:01	12.1	20.6	26.1	125.4	126.4	125.7	6659.96	1634.3	7409.93	0.89
11:15	12.7	20	26.1	125.3	126.4	125.8	6724.19	1639.7	7459.31	0.9
11:31	12.1	24.2	29.1	126.2	126.8	126	7405.81	2007.9	8314.37	0.89
11:45	13.9	20	26.7	125	126.3	125.8	6997.79	1644.6	7713.41	0.9
12:01	14.5	20	27.3	125.3	126.8	126.1	7102.62	1682.8	7828.36	0.9
12:15	13.3	20	26.1	126.5	127.9	127.3	6808.88	1715	7555.42	0.9
12:31	13.3	24.8	30.3	125.6	126.5	125.4	7801.74	2022.8	8705.57	0.89
12:45	12.1	24.8	29.7	125.7	126.8	125.4	7558.53	1984.1	8471.25	0.89
13:01	12.1	19.4	24.8	126.8	128.2	127.3	6521.76	1688.3	7269.03	0.89
13:15	12.1	20.6	26.1	126	127.3	126.3	6705.7	1661.1	7467.46	0.89
13:31	12.1	20.6	25.5	126.2	127.4	126.4	6662.96	1698.7	7430.62	0.89
13:45	12.7	19.4	24.8	126.3	127.7	126.6	6406.66	1659.9	7129.52	0.89
14:01	12.1	20.6	25.5	126.9	128.4	127.2	6669.37	1702.7	7443.51	0.89
14:15	14.5	20.6	27.3	126	127.9	126.4	7130.65	1709.7	7872.42	0.9
14:31	13.3	25.4	31.5	126.2	127.9	125.7	8082.96	1709.3	8974.92	0.9
14:45	15.2	19.4	26.7	126.6	128.6	127.2	7138.06	1774.9	7841.73	0.91
15:03	12.1	18.8	23.6	125.6	127	125.8	6202.16	1621.4	6896.03	0.89
15:15	15.2	18.8	25.5	125.2	127	125.8	6792.49	1677.8	7463.04	0.91
15:31	12.1	18.8	24.2	125.4	126.8	125.8	6207.51	1565.3	6887.85	0.9
15:45	12.1	18.2	23.6	126.2	127.6	126.7	6160.78	1595.8	6845.65	0.89
16:01	12.7	18.8	24.8	125.6	126.8	126	6383.35	1632.5	7085.94	0.9
16:15	12.1	18.8	24.2	125.7	127	126.1	6305.33	1637	7019.52	0.89
16:31	15.2	18.2	25.5	126.5	128	127.6	6887.18	1731.2	7569.65	0.9
16:45	14.5	18.2	25.5	125.6	127.1	126.4	6628.77	1667.4	7299.79	0.9
17:01	14.5	18.8	24.8	125.6	127	126.4	6674	1687.3	7357.34	0.9
17:15	15.2	18.2	26.1	125.4	127.1	126.6	6847.69	1712.1	7519.65	0.91
17:31	12.7	18.2	23.6	127.1	128.3	128.1	6247.54	1666.9	6945.89	0.89
17:45	12.7	18.2	23.6	125.9	127	126.7	6186.97	1636.5	6870.46	0.9
18:01	12.1	18.8	23.6	126.2	127.3	127.2	6203.3	1618.1	6898.36	0.89
18:15	12.1	23.6	27.9	126.2	127.1	126.4	7165.62	2015.4	8047.37	0.89
18:31	12.1	22.4	27.3	127.4	128	127.6	7027.57	2055.8	7901.66	0.88
18:45	12.1	21.2	26.1	126.5	127.3	126.7	6734.65	1844.3	7526.73	0.89
19:01	13.9	18.2	24.2	126	127.3	127.2	6435.5	1666.7	7103.64	0.9
19:15	13.3	18.2	24.2	126	127.1	127	6434.31	1649	7116.61	0.9
19:31	10.9	18.2	23	126	126.7	126.6	5994.79	1519.3	6643.47	0.9
19:33	10.9	18.2	23	125.4	126.1	126	5973.36	1494.4	6611.85	0.9
19:35	3.6	9.7	11.5	126.6	126.3	127.5	2511.04	984.58	3105.46	0.8
19:37	0	3.6	3.6	127.1	126.5	128.5	644	431.26	964.25	0.66

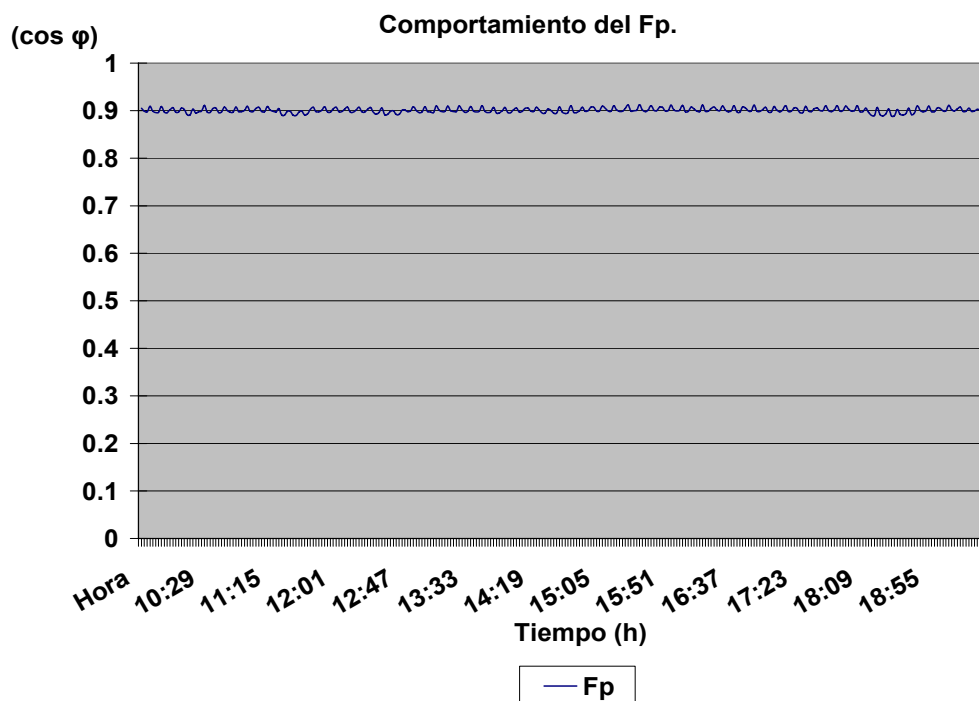
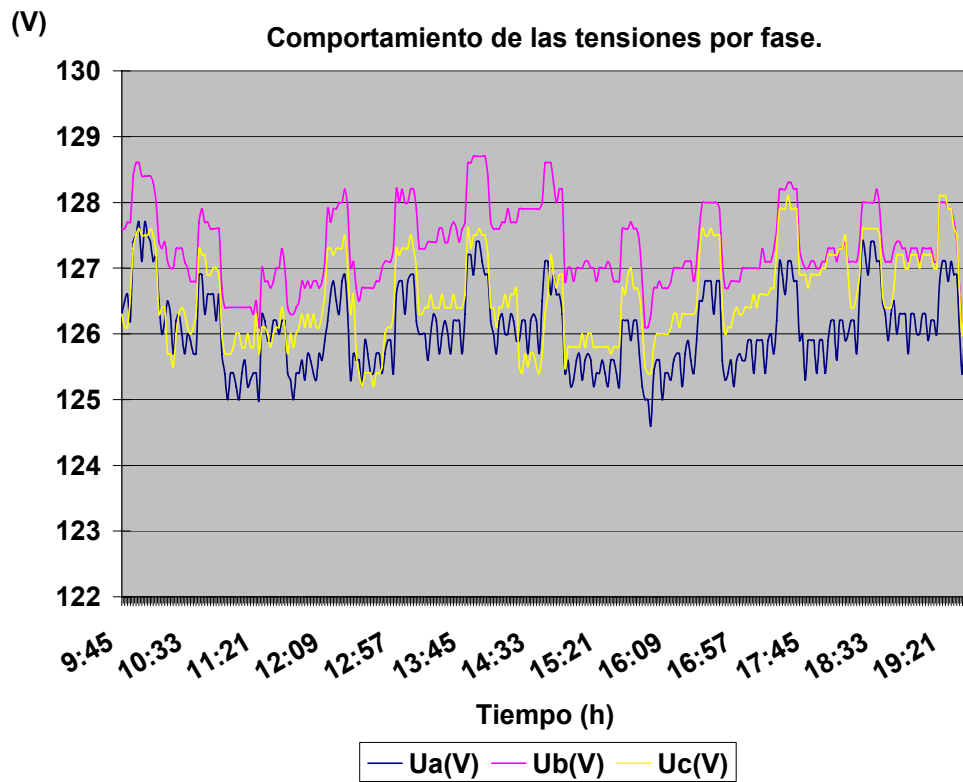
Tabla # 10 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 16 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta los equipos de nefrología. En el existen cinco maquinas de hemodiálisis y de las mismas funcionan 4, son de 220 V, 16 A, y 50 Hz de frecuencia y están trabajando a 60 Hz. estas tienen un tiempo de trabajo de 10 horas aproximadamente.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 10.





#### Anexo 1.11 Transformador 12 16KVA.

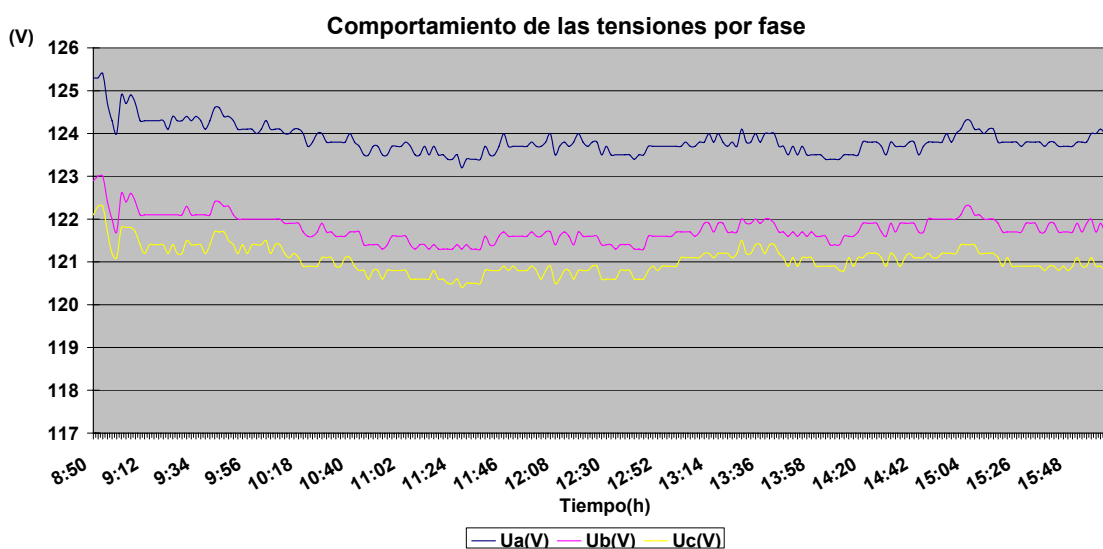
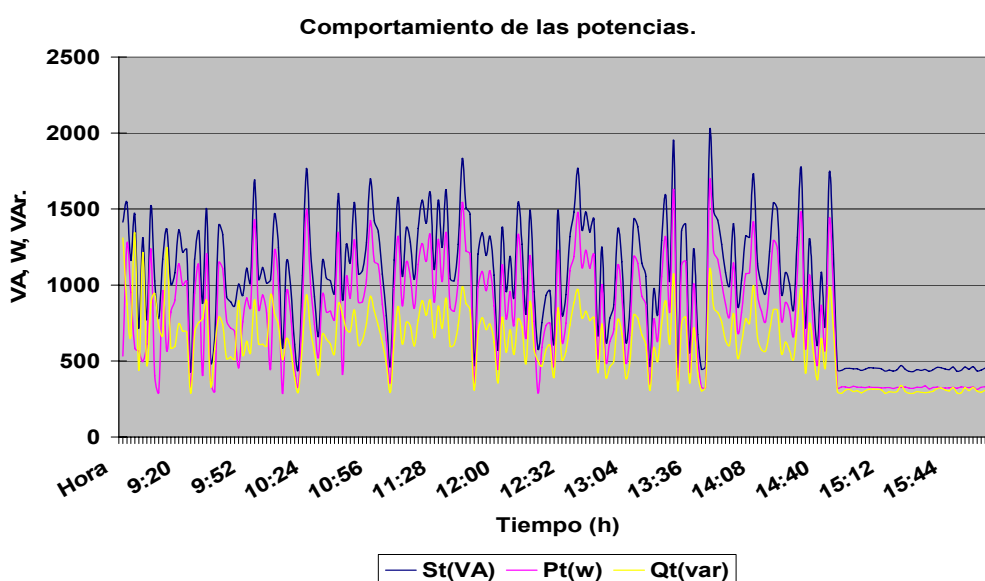
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(var)	St(VA)	FP
8:50	33.4	3	3.6	125.3	122.9	122.1	1414.24	532.79	1310	0.38
9:06	31.6	1.8	2.4	124.9	122.6	121.8	1027.13	403.29	944.64	0.39
9:20	25.5	2.4	3	124.3	122.1	121.4	1214.99	996.26	695.46	0.82
9:36	21.2	1.2	1.2	124.3	122.1	121.4	652.43	302.37	578.13	0.46
9:50	24.9	1.8	1.8	124.3	122.1	121.4	931.37	757.32	542.14	0.81
10:06	35.2	3.6	3	124.1	122	121.2	1468.03	1221.6	814.13	0.83
10:20	31.6	2.4	1.8	124	121.7	120.9	1062.46	869.74	610.22	0.82
10:36	24.9	1.8	1.8	123.8	121.6	120.9	947.14	772.47	548.05	0.82
11:06	31	3	1.8	123.7	121.4	120.6	1164.57	976.25	634.95	0.84
11:20	25.5	3.6	3	123.5	121.3	120.6	1557.71	1273.48	897.06	0.82
11:36	28.5	3	1.8	123.4	121.3	120.5	1027.75	828.07	608.74	0.81
11:50	21.2	3.6	2.4	123.7	121.6	120.9	1343.16	1089.89	785	0.81
12:06	24.3	2.4	1.2	124	121.7	120.9	917.04	738.02	544.32	0.8
12:20	27.3	1.8	1.2	123.8	121.6	120.8	752.84	589.33	468.46	0.78
12:50	25.5	3	2.4	123.7	121.6	120.9	1249.62	1004.09	743.88	0.8
13:06	31	3.6	3	123.7	121.7	121.1	1432.48	1186.32	802.9	0.83
13:20	32.8	3	2.4	123.8	121.9	121.2	1293.39	1055.48	747.54	0.82
13:36	26.7	3	2.4	123.8	121.9	121.4	1239.4	1009.1	719.6	0.81
13:50	31	3	2.4	123.7	121.7	121.1	1268.38	1017.91	756.73	0.8
14:06	23.1	4.2	3.6	123.4	121.4	120.9	1731.15	1416.1	995.76	0.82
14:36	16.4	2.4	1.2	123.7	121.9	120.9	900.32	709.78	553.88	0.79
14:50	2.4	1.2	0	123.8	122	121.1	438.44	330.52	288.07	0.75
15:06	3	1.2	0	124.3	122.3	121.4	453.35	326.3	314.73	0.72
15:20	3	1.2	0	123.8	121.7	120.9	470.92	326.76	339.11	0.69
15:36	3	1.2	0	123.8	121.7	120.9	444.01	325.68	301.79	0.73
15:38	3	1.2	0	123.7	121.7	120.8	458.21	328.73	319.21	0.72
15:40	3	1.2	0	123.8	121.9	120.9	456.08	323.34	321.65	0.71
15:42	3	1.2	0	123.8	121.9	120.9	447.43	321.9	310.76	0.72
15:44	3	1.2	0	123.7	121.7	120.8	443.4	322.81	303.97	0.73
15:48	3	1.2	0	123.7	121.7	120.8	432.52	321.1	289.77	0.74
15:50	2.4	1.2	0	123.7	121.7	120.9	440.06	330.17	290.93	0.75
15:52	3	1.2	0	123.8	121.9	121.1	459.74	325.77	324.4	0.71
15:54	3	1.2	0	123.8	121.7	120.9	446.73	325.5	305.97	0.73
15:56	3	1.2	0	123.8	121.9	120.9	462.96	328.74	325.98	0.71
15:58	3	1.2	0	124	122	121.1	435.66	312.84	303.2	0.72
16:02	3	1.2	0	124.1	121.9	120.9	452.46	331.7	307.73	0.73
16:04	3	1.2	0	124	121.7	120.8	454.92	332.78	310.18	0.73
16:06	2.4	1.2	0	124	121.7	120.8	445.65	328.11	301.58	0.74
16:08	3	1.2	0	124.1	121.9	120.9	448.15	324.78	308.8	0.72

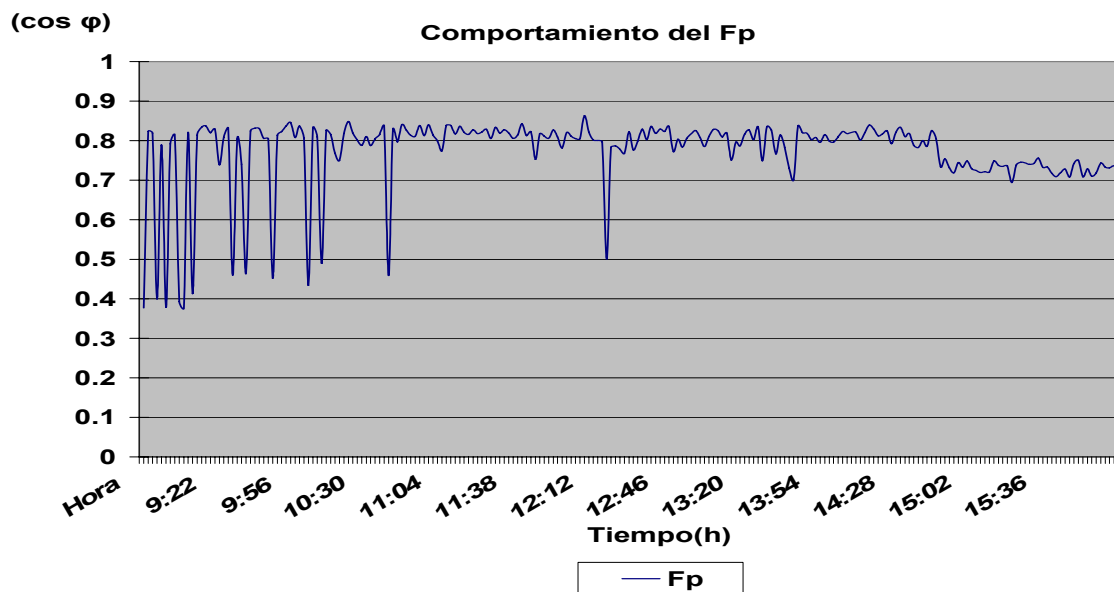
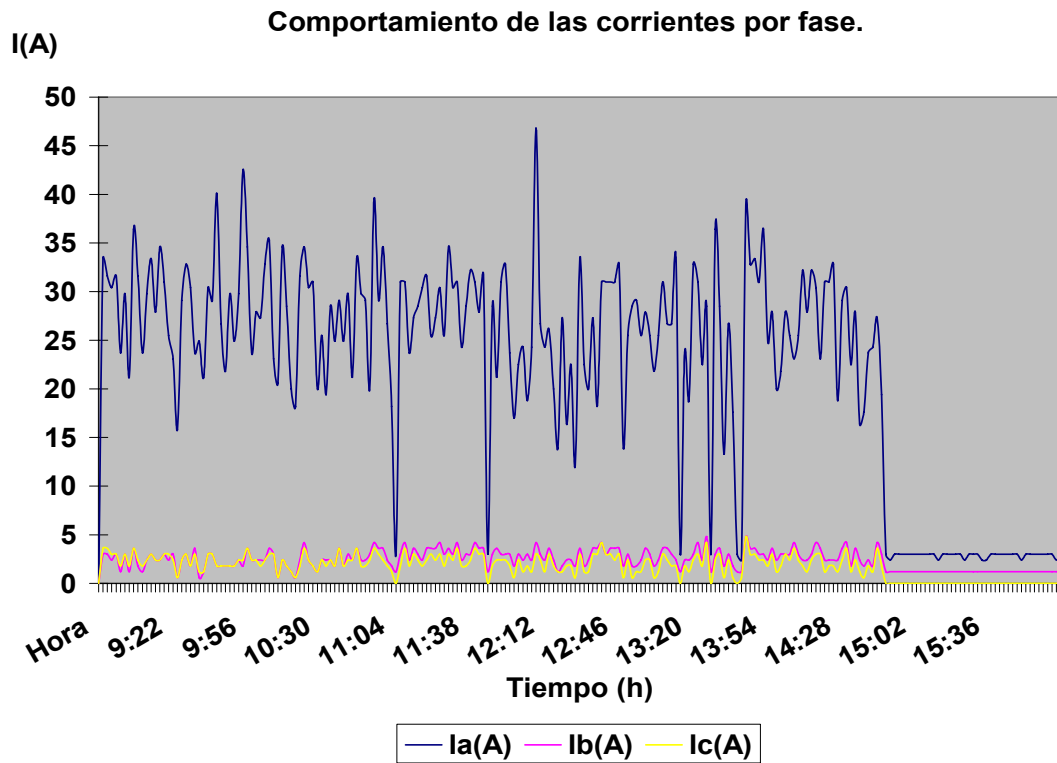
Tabla # 11 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 16 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Alimenta al circuito de emergencia y un ascensor del este y la zona de servicio. El principal consumidor es el elevador que es de 11 Kw. el motor de este trabaja con tensión a 380 V debido a que el mismo tiene un transformador elevador.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 11.





### Anexo 1.12 Transformador #13 150 KVA.

Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(Kw)	Qt(Kvar)	St(KVA)	Fp
8:24	110.6	145.6	139	123.7	124.2	124.2	46.63	14.17	49.08	0.94
8:40	92.4	129.8	126.9	122.6	122.7	123.3	40.35	13.69	43	0.93
9:00	107.6	148	136.6	124.1	125.7	124.8	46.37	14.19	49.06	0.94
9:16	107	138.3	128.7	120.3	121.3	120.8	43.01	12.84	45.23	0.95
9:32	110	143.2	138.4	120.4	120.2	120.5	45.25	12.5	47.23	0.95
9:48	115.5	145	139.6	119.8	121	120.2	46.14	12.93	48.26	0.95
10:04	108.8	141.9	132.3	119	120.8	121.1	44.18	12.3	46.21	0.95
10:20	117.3	151.6	129.3	118.7	120.1	121.1	45.81	12.85	47.86	0.95
10:36	122.2	157.1	134.1	118.2	119.2	121.4	47.33	13.9	49.54	0.95
10:52	117.9	155.9	129.3	117.6	119.2	121.5	45.9	13.71	48.16	0.95
11:08	125.2	160.7	127.5	117.6	119.7	121.7	47.54	12.72	49.49	0.96
11:24	124	162.6	128.7	117.8	119.1	122	47.71	13.11	49.73	0.95
11:40	114.9	157.1	132.3	118.5	119.2	122.1	46.49	13.06	48.55	0.95
11:56	132.5	176.5	139.6	118.7	119.2	122.6	51.78	13.99	53.93	0.96
12:12	119.2	154.1	125	119.5	120.2	122.3	45.81	13.72	48.1	0.95
12:28	128.3	161.4	133.5	119.5	120.4	121.8	48.76	14.23	51.09	0.95
12:44	141.7	168	145.1	119.8	121.1	120.5	52.84	13.54	54.92	0.96
13:00	122.2	154.1	126.2	119.8	121.3	121.2	45.98	14.28	48.62	0.94
13:16	110.6	146.2	117.7	119.8	121.1	121.7	42.75	13.5	45.33	0.94
13:32	125.8	155.9	129.3	119.5	121	121.4	47.37	13.72	49.66	0.95
13:48	124.6	154.1	124.4	119.1	120.2	120.9	46.11	13.71	48.5	0.95
14:04	117.9	151	117.7	119.5	120.2	121.2	44.1	13.53	46.61	0.94
14:20	117.3	140.1	107.4	118.8	120.5	121.5	41.68	12.7	43.88	0.94
14:36	111.9	128	103.8	119.4	121	121.1	39.16	12.54	41.4	0.94
14:52	125.8	149.2	116.5	119.1	120.5	120.8	44.95	12.69	47.1	0.95
15:08	124	151	115.9	119.2	119.8	121.5	44.82	13.04	47.03	0.95
15:12	111.3	129.2	100.1	119.4	120.7	121.5	38.74	13.09	41.18	0.94
15:16	111.9	130.4	102	119.5	120.8	121.8	39.35	12.8	41.65	0.94
15:20	110.6	131.6	99.5	119.5	120.4	121.8	38.87	12.93	41.26	0.94
15:24	113.7	131.6	100.1	119.4	120.5	121.5	39.4	12.87	41.75	0.94
15:28	105.2	128	99.5	119.5	120.5	121.5	37.65	12.97	40.14	0.93
15:32	116.7	144.4	110.5	119.5	119.4	121.8	42.42	13.09	44.68	0.94
15:36	110.6	135.9	110.5	119.4	119.8	121.5	40.73	12.94	42.97	0.94
15:40	108.2	131.6	100.7	119.7	119.7	122	38.71	12.94	41.07	0.94
15:44	101.5	129.8	100.7	119.7	119.5	122.1	37.7	12.96	40.1	0.93
15:48	105.8	130.4	103.8	119.5	119.7	121.8	38.67	12.78	40.94	0.94
15:52	87.5	118.3	109.8	119.5	120.4	121.7	35.83	11.98	38.04	0.94
15:56	71.1	104.3	98.9	119.8	120.5	122.1	30.83	11.58	33.28	0.92

Tabla # 12 Mediciones del sistema.

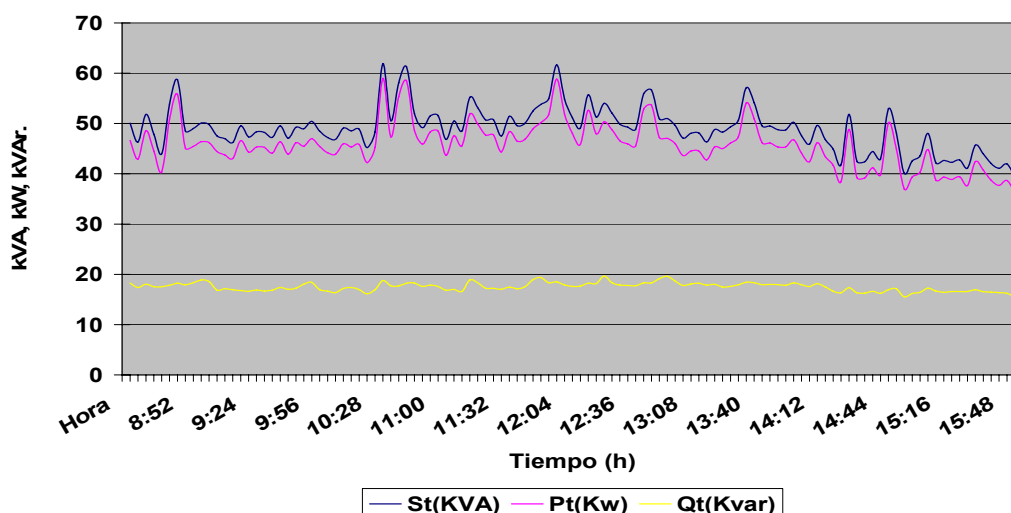
Este transformador es de 150 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Alimenta al circuito de emergencia, salón de operaciones, esterilización y consolas de la azotea. En esterilización hay dos autoclaves las mismas consumen 21 Kw, también existen dos destiladoras de 12 Kw.

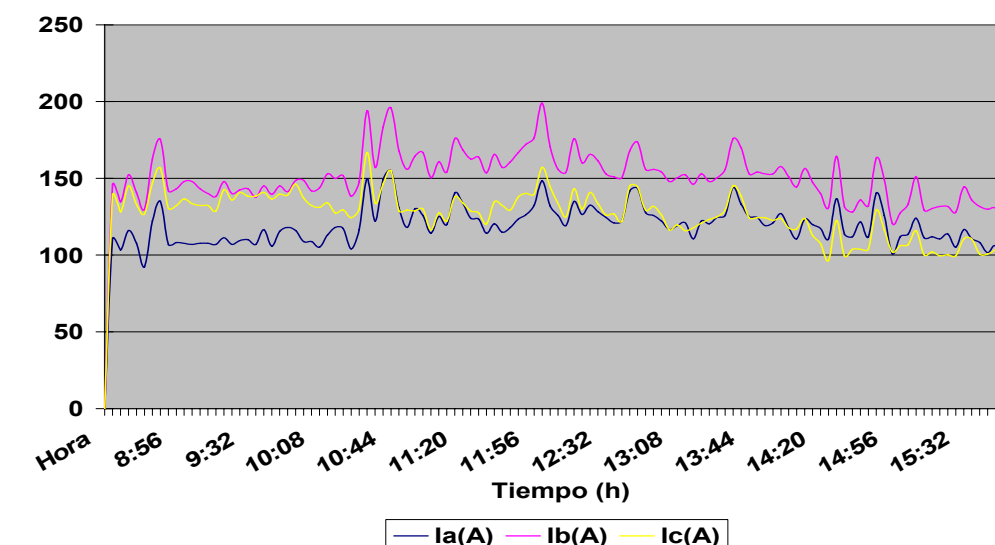
A continuación se muestra en la tabla 1.3 la cantidad de consolas que trabajaron el día de la medición, además el área que climatizan y sus características nominales.

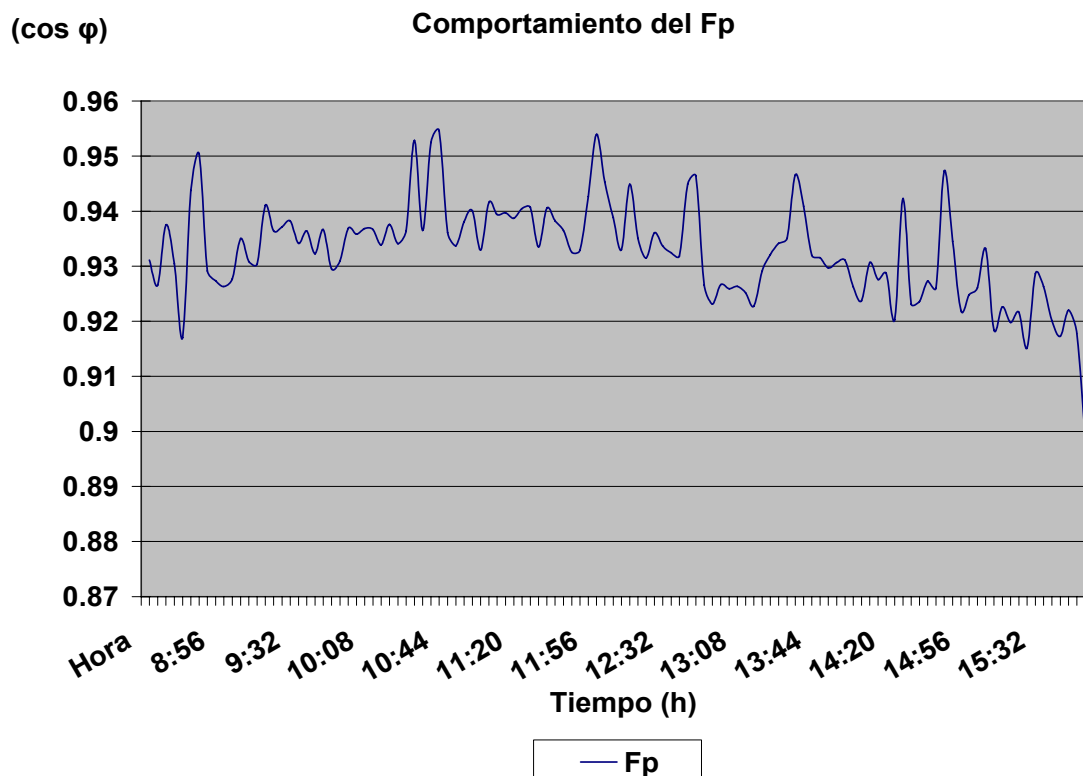
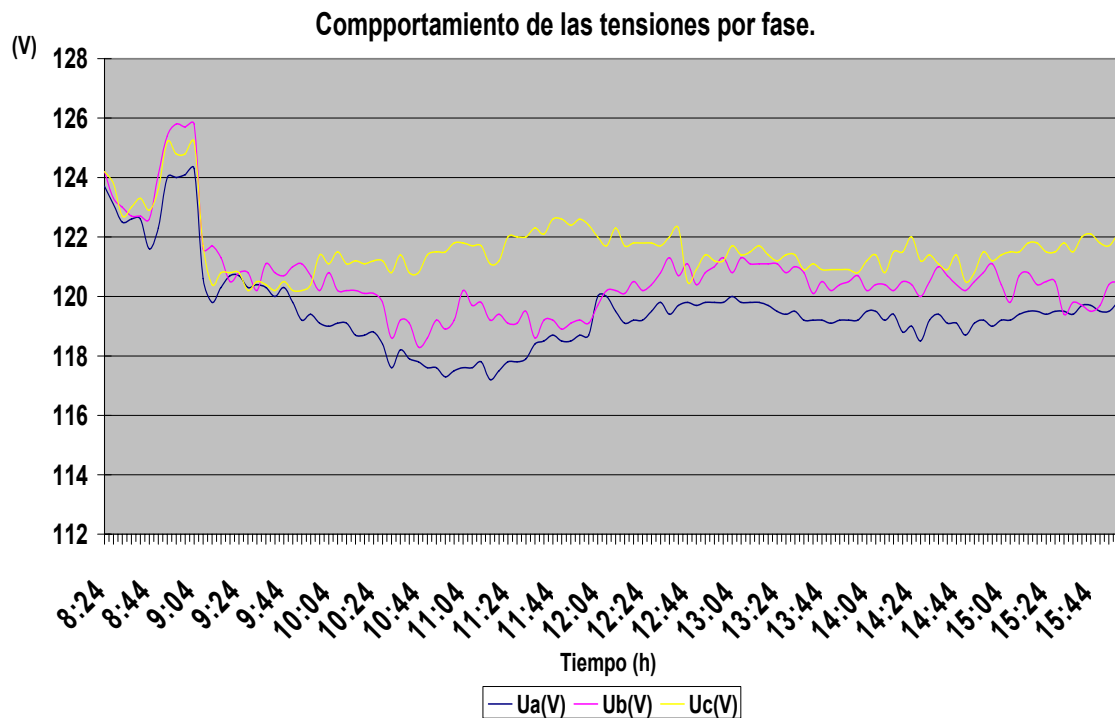
Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 12.

Comportamiento de las potencias.



Comportamiento de las corrientes por fase.





### Anexos 1.13 Transformador # 14 27 KVA.

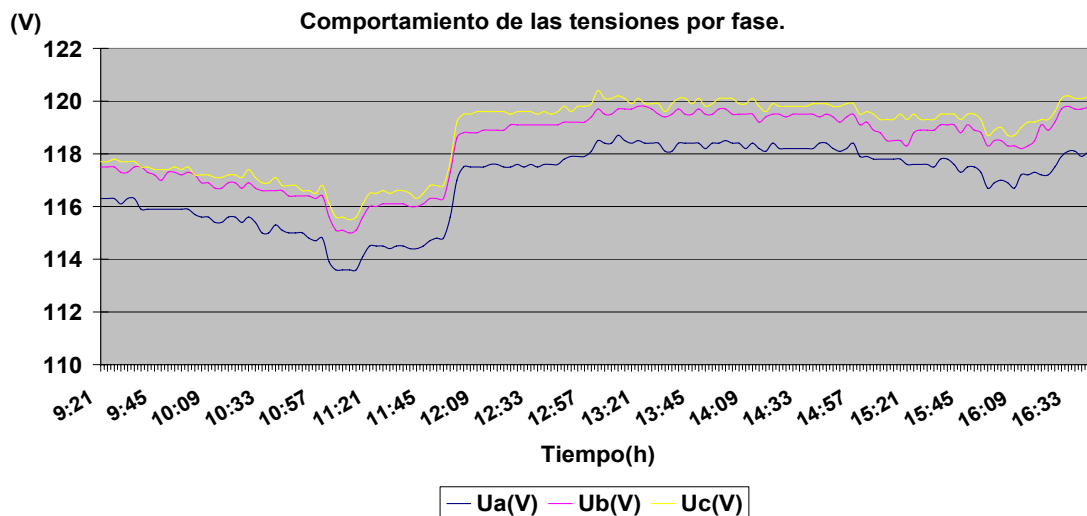
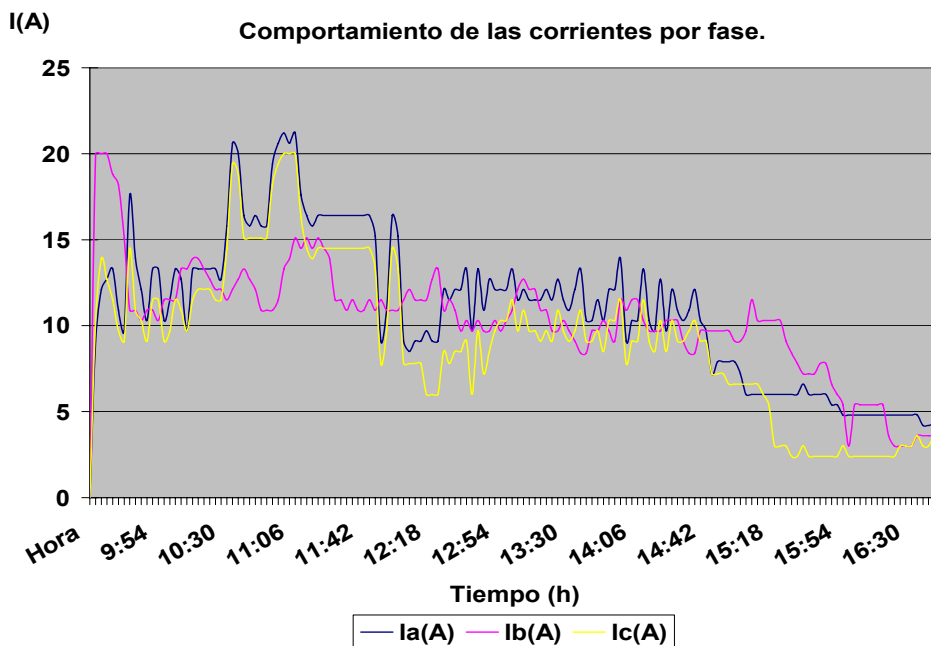
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(var)	St(VA)	Fp
9:21	9.1	20	10.3	116.3	117.5	117.7	5734.96	4668.89	3330.35	0.81
9:36	9.7	15.1	9.1	116.3	117.5	117.7	5006.32	3934.1	3096.14	0.79
9:51	13.3	10.9	11.5	115.9	117.3	117.4	5164.95	4122.5	3111.54	0.80
10:06	12.7	13.3	10.9	115.6	116.9	117.2	5349.92	4285.38	3202.68	0.80
10:21	13.3	12.7	12.1	115.6	116.9	117.2	5558.24	4476.59	3294.57	0.81
10:36	20	12.7	18.8	115	116.6	116.9	7104.29	5899.98	3957.42	0.83
10:51	15.8	10.9	15.1	115	116.4	116.6	5897.54	4788.23	3442.94	0.81
11:06	21.2	15.1	20	113.6	115.1	115.6	7481.32	6228.07	4145.03	0.83
11:21	16.4	14.5	14.5	114.5	116	116.5	6280.42	5118.05	3639.95	0.81
11:36	16.4	11.5	14.5	114.5	116.1	116.6	5898.35	4790.27	3441.49	0.81
11:51	9.1	11.5	7.8	114.8	116.3	116.8	4368.05	3330.08	2826.73	0.76
12:06	8.5	12.1	7.8	117.5	118.8	119.5	4491.84	3379.12	2959.42	0.75
12:21	9.1	13.3	6	117.5	118.9	119.6	4432.25	3271.28	2990.58	0.74
12:36	13.3	10.3	9.1	117.5	119.1	119.5	4958.21	3839.81	3136.83	0.77
12:51	12.1	10.3	9.7	117.9	119.2	119.6	4865.45	3762.69	3084.60	0.77
13:06	12.1	12.7	10.9	118.4	119.5	120.1	5290.84	4093.15	3352.48	0.77
13:21	11.5	9.7	9.1	118.5	119.8	120.1	4631.66	3543.42	2982.69	0.77
13:36	13.3	8.4	10.9	118.1	119.5	119.9	4900.92	3811.05	3081.38	0.78
13:51	12.1	9.7	10.3	118.2	119.5	119.8	4875.63	3788.32	3069.27	0.78
14:06	10.3	11.5	9.1	118.4	119.5	119.9	4722.83	3565.19	3097.51	0.75
14:21	9.7	10.3	8.5	118.4	119.5	119.9	4510.38	3354.58	3015.02	0.74
14:36	12.1	8.4	10.3	118.2	119.5	119.8	4662.8	3541.02	3033.63	0.76
14:51	7.9	9.7	7.2	118.1	119.2	119.8	3953.48	2821.99	2768.82	0.71
15:06	6	11.5	6.6	117.8	118.9	119.5	3886.53	2682.31	2812.53	0.69
15:21	6	10.3	3	117.6	118.3	119.3	3351.52	2185.68	2540.77	0.65
15:36	6	7.2	2.4	117.8	119.1	119.5	2972.1	1917.33	2270.95	0.65
15:51	5.4	6	2.4	117.5	118.9	119.5	2753.61	1705.51	2161.85	0.62
16:06	4.8	5.4	2.4	116.9	118.3	118.7	2543.26	1360.9	2148.52	0.54
16:09	4.8	5.4	2.4	116.7	118.3	118.7	2529.93	1347.58	2141.16	0.53
16:12	4.8	5.4	2.4	117.2	118.2	119	2537.04	1356.01	2144.25	0.53
16:15	4.8	5.4	2.4	117.2	118.3	119.2	2538.55	1358.76	2144.30	0.54
16:18	4.8	3.6	2.4	117.3	118.5	119.2	2340.37	1220.62	1996.85	0.52
16:21	4.8	3	2.4	117.2	119.1	119.3	2244	1156.23	1923.19	0.52
16:24	4.8	3	3	117.2	118.9	119.3	2340.52	1265.98	1968.59	0.54
16:27	4.8	3	3	117.5	119.2	119.6	2350.64	1272.33	1976.53	0.54
16:30	4.8	3	3	117.9	119.7	120.1	2347.73	1270.07	1974.53	0.54
16:33	4.8	3.6	3.6	118.1	119.8	120.2	2408.86	1339.99	2001.76	0.56
16:36	4.2	3.6	3	118.1	119.7	120.1	2396.41	1344.16	1983.94	0.56
16:39	4.2	3.6	3	117.9	119.7	120.1	2402.26	1343.35	1991.55	0.56
16:42	4.2	3.6	3.6	118.1	119.8	120.2	2401.46	1336.61	1995.11	0.56
16:45	3.6	3.6	3.6	118.4	120.1	120.5	2351.63	1241.88	1996.97	0.53

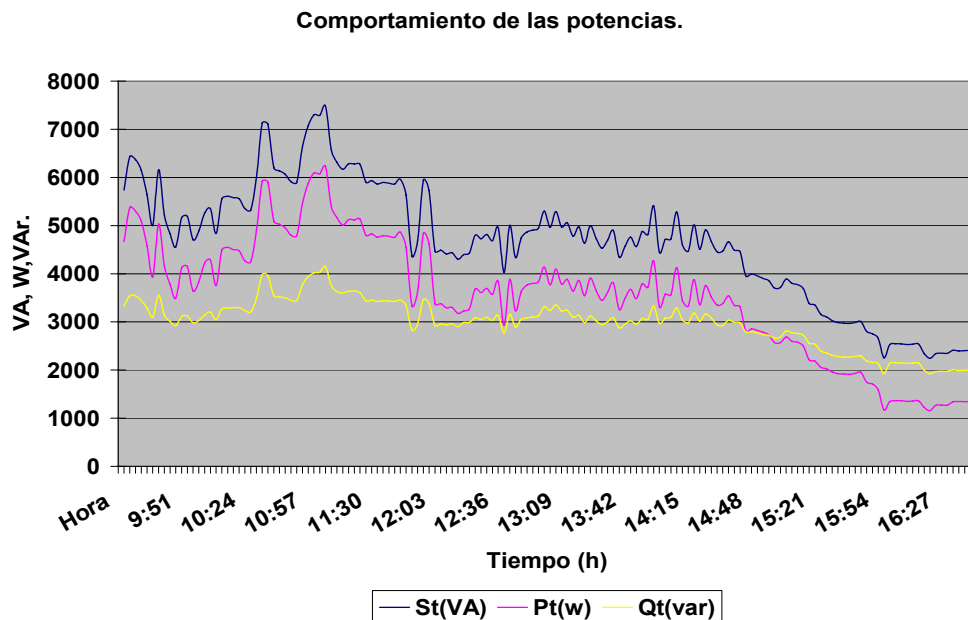
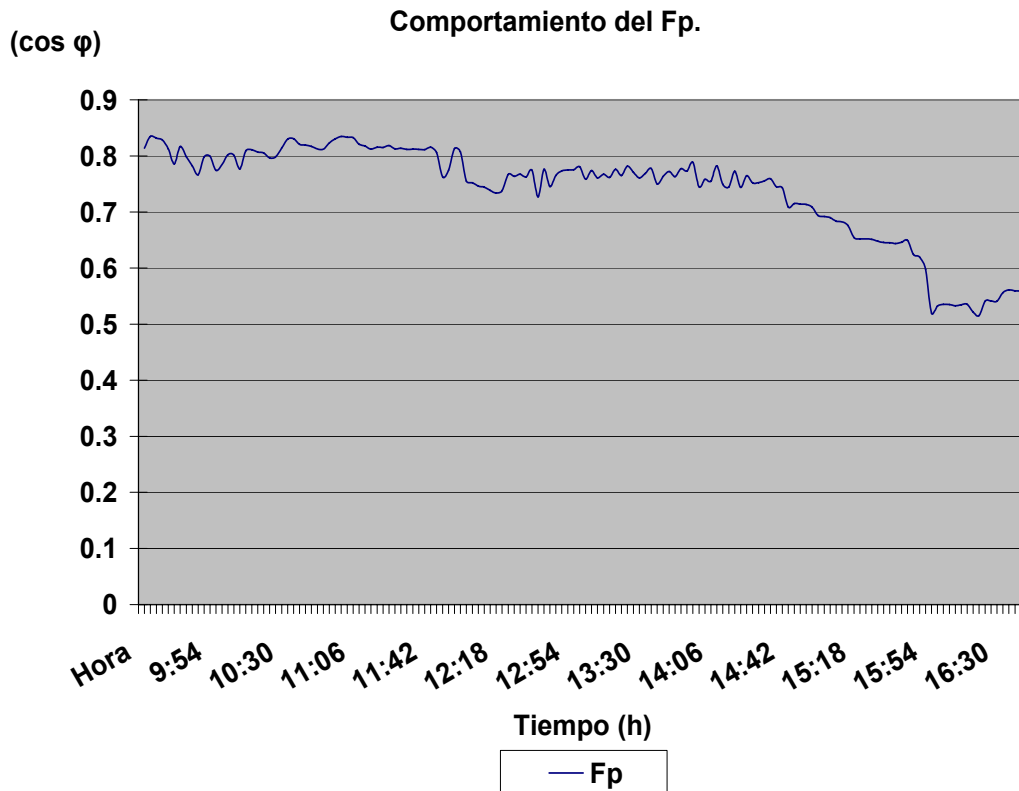
Tabla # 13 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 27 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta el alumbrado y tomacorrientes del segundo y tercer piso perteneciente al circuito normal del bloque de servicio. No tiene equipos altos consumidores.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 13.





#### Anexo 1.14 Transformador # 15 50 kVA

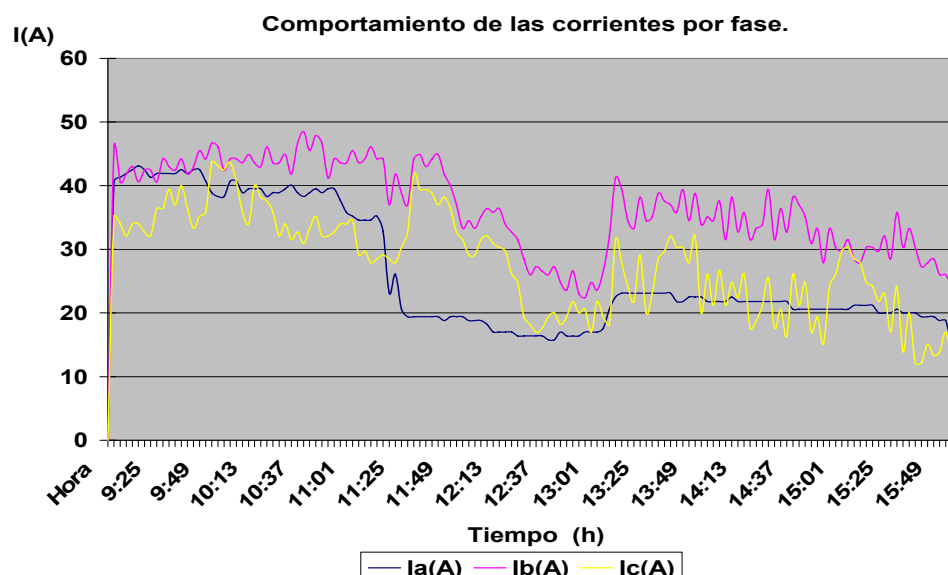
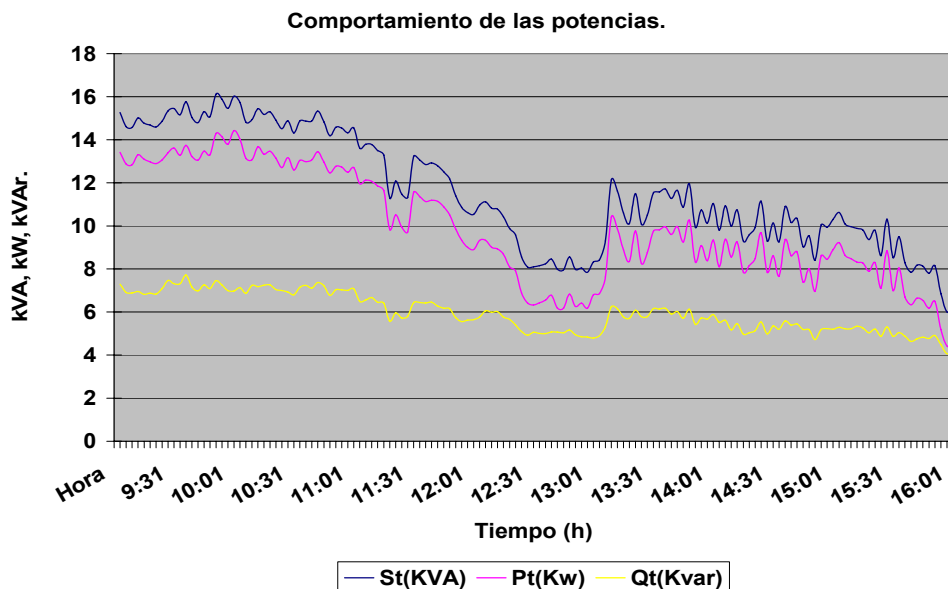
Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(Kw)	Qt(Kvar)	St(KVA)	Fp
9:04	40.7	46.1	35.2	116.7	116.6	115	15.26	13.41	7.28	0.88
9:19	42.5	42.4	32.7	116.4	116.4	114.7	14.68	12.97	6.88	0.88
9:34	41.9	42.4	37	116.4	116.4	114.7	15.16	13.28	7.31	0.88
9:49	40.7	44.2	35.8	116.9	116.7	115.3	15.07	13.3	7.09	0.88
10:04	40.7	44.2	40.6	117	117	115.5	15.73	14.02	7.13	0.89
10:19	38.3	46.1	37.6	117.5	117.3	115.8	15.29	13.46	7.25	0.88
10:34	38.9	46.7	32.7	117	116.9	115.3	14.87	13.04	7.15	0.88
10:49	39.5	41.2	32.1	117.2	117.2	115.3	14.18	12.46	6.77	0.88
11:04	34.6	43.6	29.1	117.3	117.3	115.6	13.61	11.96	6.50	0.88
11:19	23.1	37	28.5	116	116.1	114.1	11.29	9.82	5.57	0.87
11:37	19.4	43	39.4	116.6	116.6	114.4	12.85	11.13	6.42	0.87
11:52	19.4	37	32.7	116.4	116.6	114.6	11.4	9.85	5.74	0.86
12:07	18.2	36.4	32.1	116.4	116.7	114.6	11.12	9.33	6.05	0.84
12:22	16.4	31.5	24.8	116.7	116.9	114.9	9.58	7.91	5.40	0.83
12:37	15.8	26	19.4	116.9	117	115.2	8.24	6.55	5.00	0.79
12:52	16.4	23	20	116.7	117	115.2	7.98	6.26	4.95	0.78
13:07	20.6	32.1	18.2	116.7	116.7	115.2	9.3	7.63	5.32	0.82
13:22	23.1	38.2	29.1	116.4	116.3	114.9	11.5	9.76	6.08	0.85
13:37	23.1	37	32.1	116.4	116.4	114.6	11.71	9.95	6.17	0.85
13:52	22.5	33.9	20	116.3	116.3	114.7	9.93	8.32	5.42	0.84
14:07	22.5	38.2	24.8	116.3	116.3	114.6	10.93	9.38	5.61	0.86
14:22	21.8	33.9	21.2	116	116	114.4	9.92	8.49	5.13	0.86
14:37	20.6	38.2	26.1	116	115.8	114.1	10.9	9.36	5.59	0.86
14:52	20.6	27.9	15.1	116	116	114.6	8.41	6.96	4.72	0.83
14:55	20.6	33.3	24.2	116	116	114.4	10.05	8.61	5.18	0.86
14:58	20.6	30.3	26.1	116	116	114.4	9.93	8.44	5.23	0.85
15:01	20.6	29.7	29.7	116	116.1	114.3	10.3	8.89	5.20	0.86
15:04	20.6	31.5	30.3	116.1	116.1	114.3	10.63	9.22	5.29	0.87
15:07	21.2	28.5	28.5	115.9	116.1	114.1	10.09	8.63	5.23	0.86
15:10	21.2	27.9	27.9	115.9	116.1	114.3	9.96	8.48	5.22	0.85
15:13	21.2	30.3	24.8	116	116.1	114.3	9.88	8.31	5.34	0.84
15:16	21.2	30.3	24.2	116	116.1	114.3	9.8	8.27	5.26	0.84
15:22	20	32.1	23	115.7	115.8	114.1	9.79	8.29	5.21	0.85
15:25	20	28.5	17	115.7	116	114.3	8.62	7.11	4.87	0.82
15:28	20.6	35.8	24.2	115.6	115.8	114	10.31	8.84	5.31	0.86
15:34	20	33.3	20	115.7	116	114.1	9.5	8.05	5.04	0.85
15:37	20	30.3	12.1	115.7	116	114.3	8.29	6.7	4.88	0.81
15:40	19.4	27.3	12.1	115.7	116	114.3	7.85	6.34	4.63	0.81
15:43	19.4	27.9	15.1	115.4	115.7	114	8.17	6.64	4.76	0.81
15:46	19.4	28.5	13.3	115.4	115.6	114	8.13	6.54	4.83	0.80
15:49	18.8	26	13.9	115.4	115.7	114	7.8	6.17	4.77	0.79
15:52	18.8	26	17	115.7	116	114.3	8.14	6.49	4.91	0.80
15:55	14.5	23.6	12.7	115.9	116.1	114.4	6.85	5.18	4.48	0.76
15:58	11.5	19.4	12.7	115.7	116.1	114.3	6	4.42	4.06	0.74
16:01	10.9	21.8	12.1	115.9	116.1	114.3	6.22	4.55	4.24	0.73

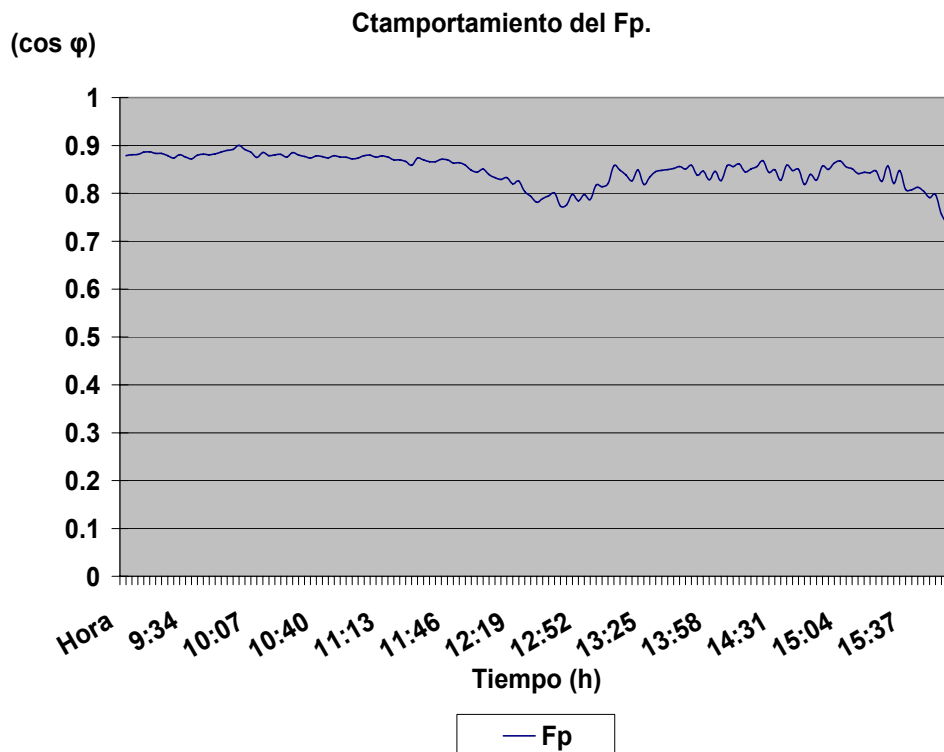
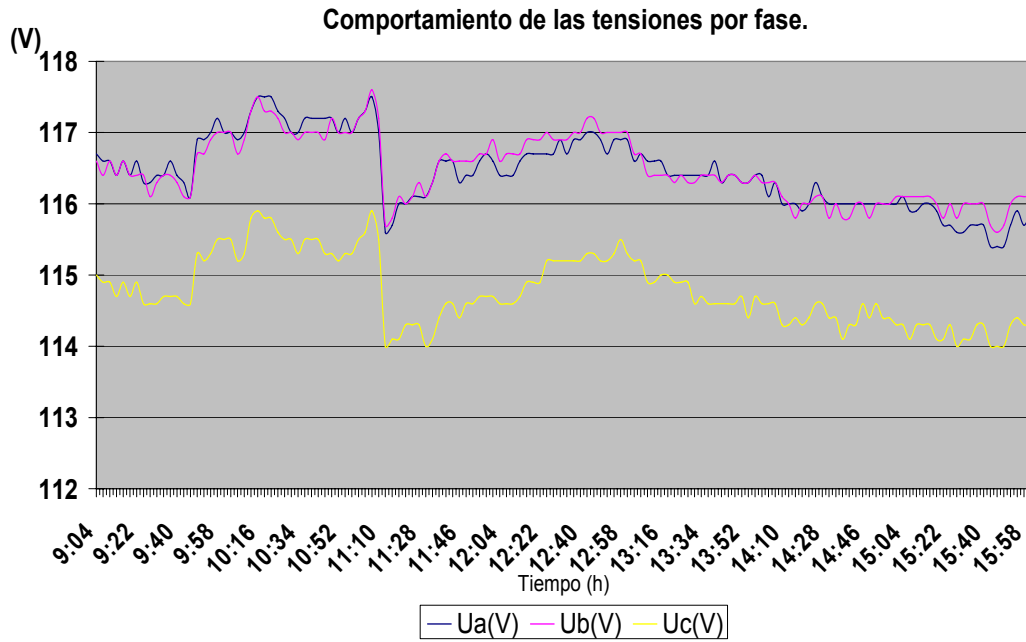
Tabla # 14 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 50 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta al segundo piso, salón de partos, servicios terapéuticos, consolas de los pisos, dos ascensores del oeste. En este salón existen tres cunas térmicas que se utilizan para regular la temperatura del recién nacido y las mismas están conectadas las 24 horas. Hay 6 aires acondicionados que están conectados las 24 horas y un refrigerador.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 14





#### Anexo 1.15 Transformador 16, 16 kVA.

Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	Pt(w)	Qt(var)	St(VA)	Fp
9:35	1.2	4.8	3	119	114.5	119.3	1196.97	963.26	710.54	0.80
9:51	1.2	4.8	3	119.5	115.4	120.2	1232.9	991.96	732.16	0.80
10:07	1.2	4.8	0	117.3	114.2	121.4	806.48	682.46	429.72	0.85
10:23	1.2	4.8	0	117.3	114.1	120.9	839.26	714.52	440.25	0.85
10:37	1.8	4.8	3	119.4	115.3	119.9	1259.07	1025.0	731.07	0.81
10:53	1.2	4.8	3.6	118.7	113.9	118.6	1244	984.92	759.91	0.79
11:09	1.2	4.8	0	117.6	114.4	122	824.78	695.74	442.95	0.84
11:25	1.2	4.8	3	118.7	114.2	119.6	1195.96	965.81	705.36	0.81
11:41	1.2	4.8	2.4	117.8	113.5	118.6	1161.93	938.99	684.38	0.81
11:57	1.2	4.8	0	117.2	114.1	121.7	804.29	670.89	443.61	0.83
12:13	1.2	4.8	0	116.1	113.1	120.5	799.03	673.75	429.55	0.84
12:29	1.2	4.8	5.4	119	113.8	116.8	1436.77	1103.7	919.82	0.77
12:45	1.2	4.8	1.8	118.5	115.3	120.2	1015.34	827.25	588.70	0.81
13:01	1.2	4.8	0	116.7	114.2	120.9	788.85	659.98	432.10	0.84
13:17	1.2	4.8	2.4	118.2	114.8	119.2	1060.48	869.85	606.61	0.82
13:33	1.2	3.6	3	119.4	117	119.8	1045.69	859.01	596.30	0.82
13:49	1.2	3.6	3	118.7	116.1	118.7	1048.2	852.79	609.49	0.81
14:05	1.2	3.6	3	120.1	117.6	120.2	1095.1	887.96	640.91	0.81
14:21	1.2	3.6	3	120.1	117.6	120.2	1085.02	879.52	635.38	0.81
14:37	1.2	3.6	0.6	118.2	116.7	121.5	717.75	607.32	382.53	0.85
14:53	1.2	3.6	0	119.1	117.6	122.7	717.76	604.89	386.38	0.84
15:09	1.2	4.2	3	119.5	116.6	119.8	1111.09	910.2	637.23	0.82
15:25	1.2	4.8	3	119.4	115.7	119.9	1185.43	960.15	695.24	0.81
15:29	1.2	4.8	3	119.7	116.7	120.1	1209.08	983.57	703.18	0.81
15:31	1.2	4.8	3	119.7	116.7	120.1	1207.44	980.4	704.79	0.81
15:37	1.2	5.4	3	120.6	117.6	120.9	1252.69	1003.5	749.71	0.80
15:39	1.2	4.8	3	120.4	117.6	120.8	1257.08	1020.7	733.74	0.81
15:41	1.2	5.4	3	120.6	117.8	121.1	1232.96	994.93	728.22	0.81
15:43	1.2	5.4	1.8	120	117.6	122	1093.35	896.47	625.90	0.82
15:49	1.2	5.4	0	119.2	117.5	123.3	865.22	729.2	465.70	0.84
15:51	1.2	5.4	0	119.2	117.3	123.3	858.41	724.75	460.01	0.84
15:53	1.2	5.4	0	119.2	117.5	123.3	857.37	721.92	462.51	0.84
15:55	1.2	4.8	0.6	118.2	116.4	122.3	848.34	713.99	458.15	0.84
15:57	1.2	4.8	1.8	119	116.3	120.9	1037.92	869.75	566.40	0.84
15:59	1.2	4.8	3	119.5	116.7	119.9	1205.57	974.07	710.34	0.81
16:01	1.2	4.8	3	119.5	116.6	119.8	1214.72	986.89	708.23	0.81
16:03	1.2	4.8	3	119.4	116.6	119.8	1205.44	984	696.30	0.82
16:07	1.2	4.8	3	119.4	116.6	119.8	1199.99	972.84	702.54	0.81
16:09	1.2	4.8	3	119.4	116.6	119.8	1193.99	962.82	706.11	0.81
16:11	1.2	4.8	3	119.4	116.4	119.6	1214.54	982.96	713.37	0.81
16:13	1.2	4.8	3	119.2	116.4	119.6	1205.96	981.8	700.29	0.81
16:15	1.2	4.8	3	119.2	116.4	119.6	1203.6	968.78	714.23	0.80
16:17	1.2	4.8	3	119.1	116.4	119.6	1201.2	976.61	699.37	0.81
16:19	1.2	4.8	3	119.5	117	120.6	1157.01	941.22	672.89	0.81
16:21	1.2	4.8	0	118.8	117.2	123	851.47	718.22	457.34	0.84
16:23	1.2	5.4	0	118.8	117.2	123	855.88	724.98	454.90	0.85

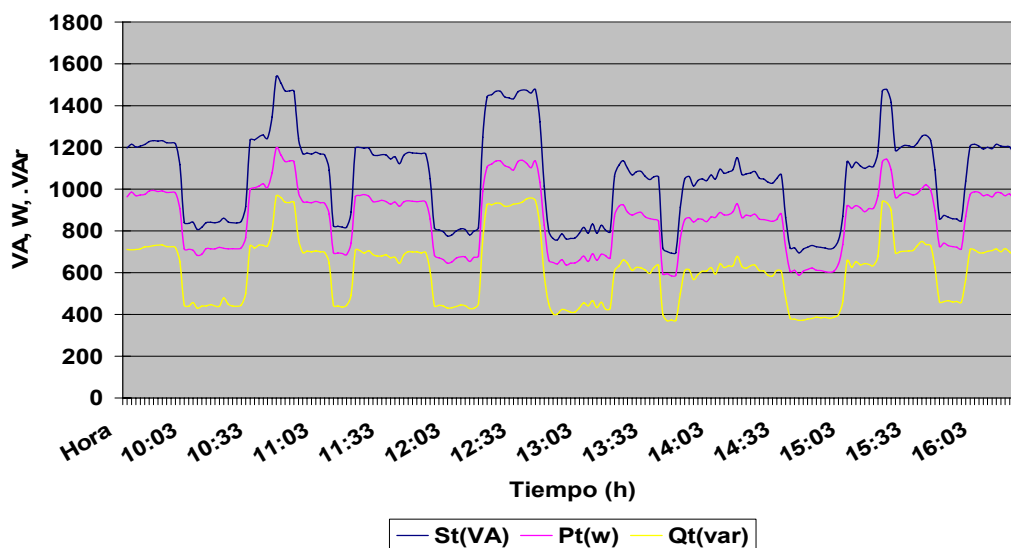
Tabla # 15 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 16 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada.

Este transformador alimenta alumbrado y tomacorrientes del circuito normal de las zonas 1 y 2.

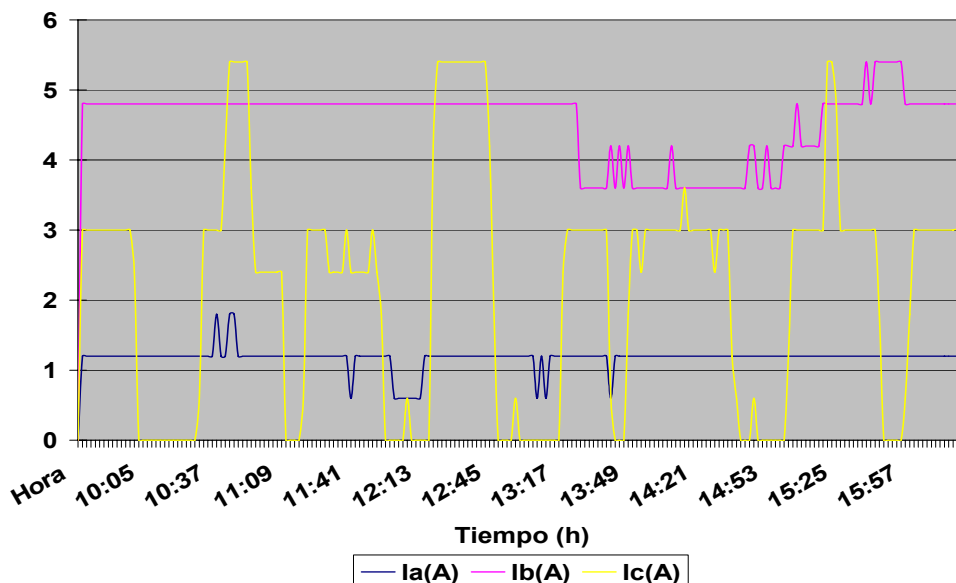
Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 15

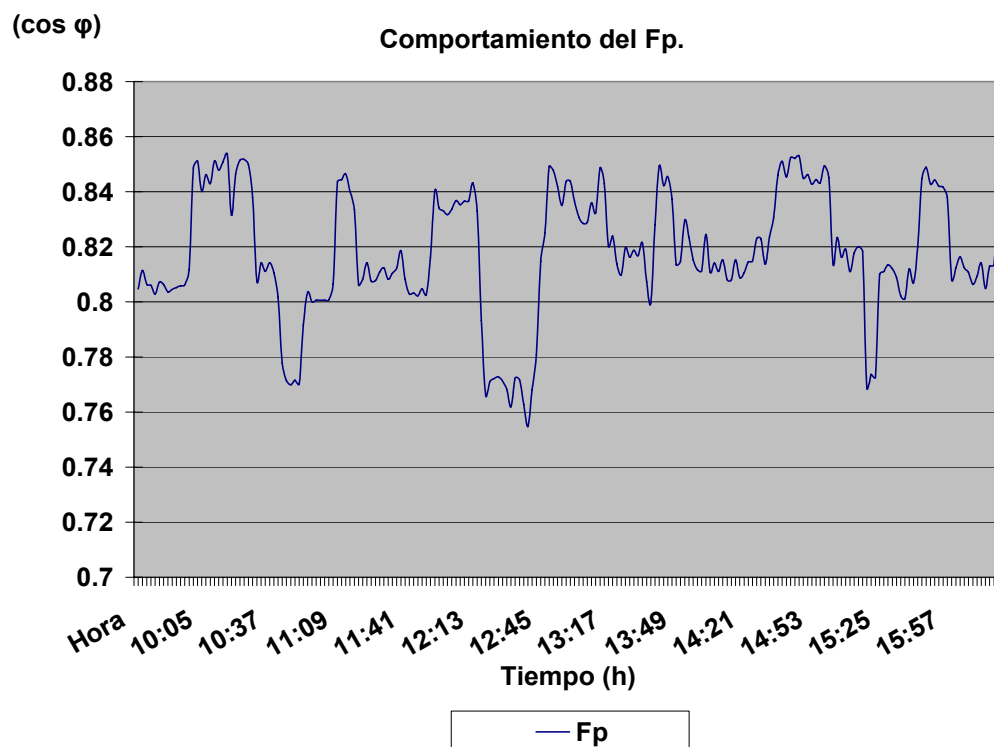
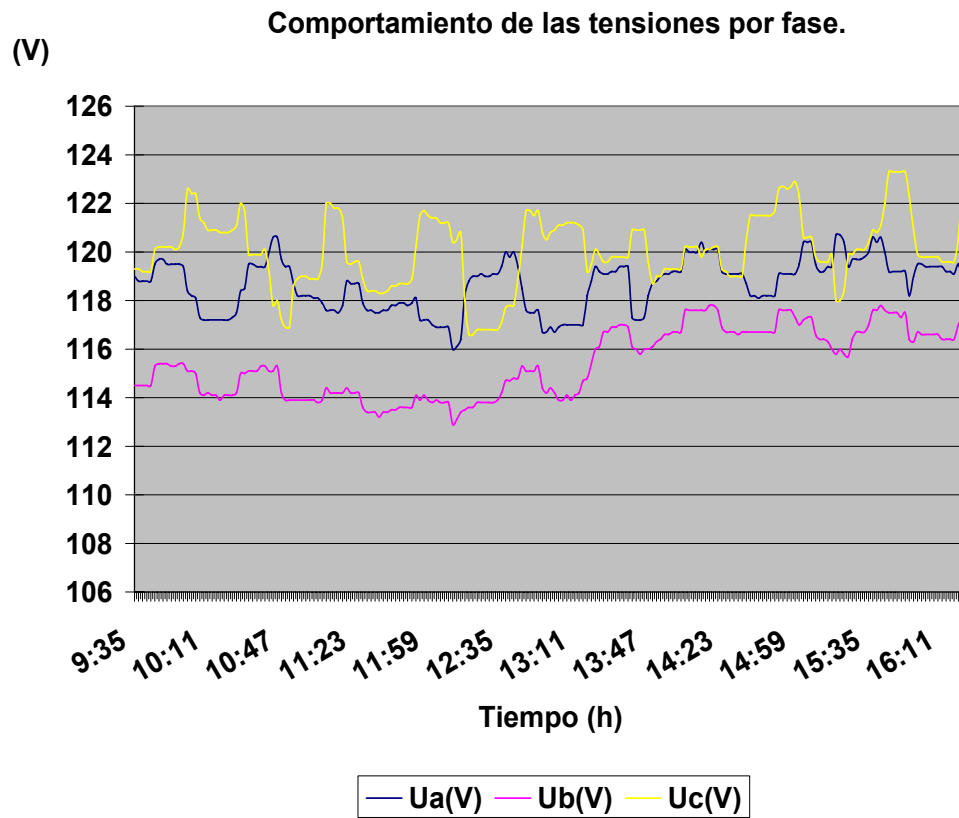
Comportamiento de las potencias.



I(A)

Comportamiento de las corrientes por fase.





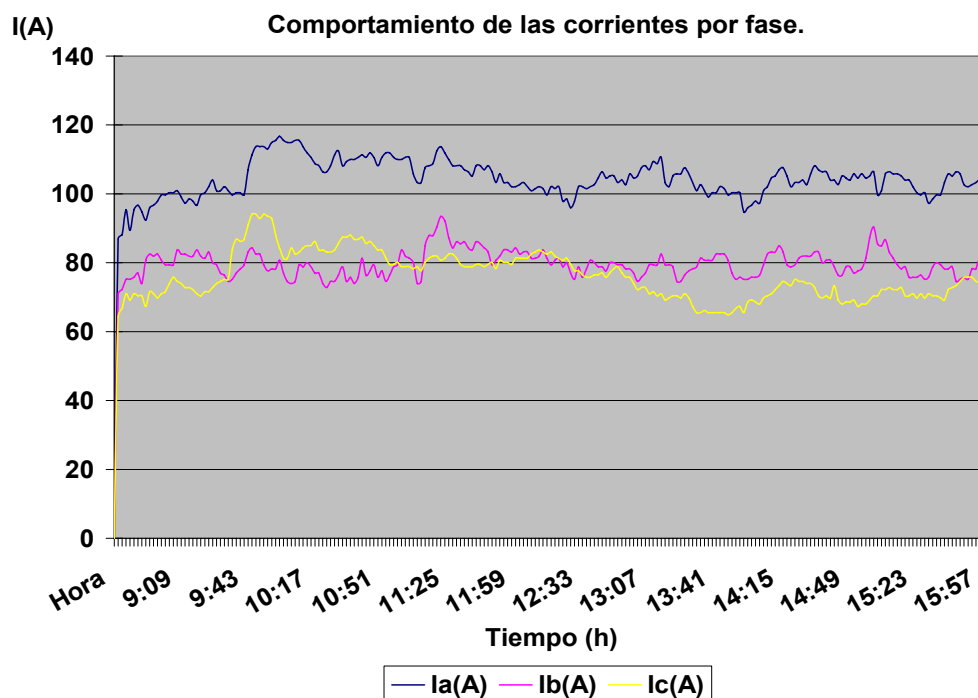
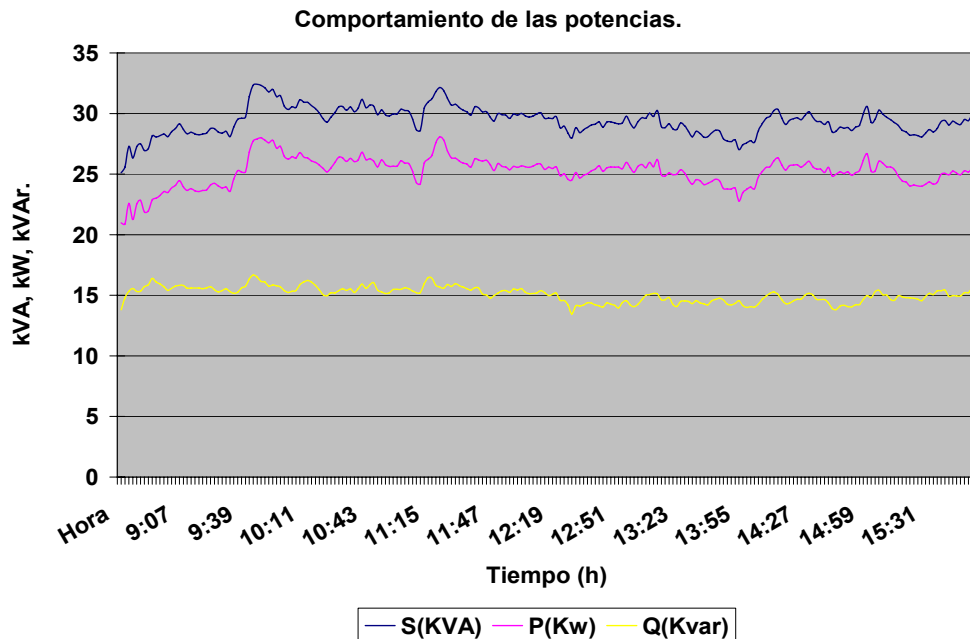
Anexo 1.16 Transformador # 17 50 KVA.

Hora	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)	Ua(V)	Ub(V)	Uc(V)	P(Kw)	Q(Kvar)	S(KVA)	Fp
8:37	86.9	70.9	64.3	111.7	113.4	113.7	20.98	13.58	25.11	0.83
8:53	96	82.5	71.6	111.3	112.8	113.5	22.88	16.12	28.15	0.81
9:09	99.1	82.5	74	110.8	112.6	113.1	23.94	15.49	28.69	0.83
9:25	104	80	72.8	110.5	112.5	113.1	24.24	15.15	28.75	0.84
9:41	99.7	79.4	86.8	110.2	112.5	112.8	25.2	15.29	29.71	0.84
9:57	115.5	78.2	88	109.9	112.5	112.9	27.13	15.22	31.39	0.86
10:13	111.9	80	85	109.9	112.3	112.8	26.32	15.64	30.92	0.85
10:31	108.2	78.8	87.4	109.9	112	112.5	26.33	15.08	30.57	0.86
10:47	110.6	79.4	85	109.8	112.2	112.6	26.07	15.5	30.61	0.85
11:03	110.6	81.9	78.9	109.9	112.2	112.8	25.89	14.99	30.24	0.85
11:19	112.5	90.4	81.9	110.2	112.3	112.9	27.58	15.4	31.8	0.86
11:35	106.4	84.3	78.9	110.2	111.7	113.1	25.82	15	30.14	0.85
11:51	105.8	81.9	80.7	110.2	112	113.1	25.87	14.64	29.99	0.86
12:09	101.5	81.3	83.1	110.5	112.3	113.5	25.65	14.63	29.79	0.86
12:25	98.5	80	81.3	110.2	111.9	113.4	25.01	14.05	28.94	0.86
12:41	104.6	78.8	76.5	110.5	112.2	113.8	25.41	13.61	29.11	0.87
12:57	105.8	78.2	75.8	113.2	114.4	115.6	25.97	13.91	29.77	0.87
13:15	103.3	79.4	69.2	113.6	115	116.2	24.93	13.97	28.91	0.86
13:31	100.9	78.8	65.5	113.2	115	115.8	24.16	13.85	28.08	0.86
13:47	99.7	80.7	64.9	112.7	114.4	115.6	23.81	14.11	27.93	0.85
14:03	97.3	76.4	68	113	114.7	115.6	23.78	13.62	27.61	0.86
14:19	102.1	78.8	73.4	112.7	114.4	115.3	25.33	13.74	29.09	0.87
14:35	106.4	80	69.8	112.7	114.4	115.6	25.41	13.98	29.34	0.86
14:51	105.8	77	69.2	113.3	114.5	115.8	25.18	13.41	28.84	0.87
15:07	105.8	86.7	72.2	113	114.5	115.6	26.05	14.76	30.27	0.86
15:23	100.3	75.8	69.8	113.2	115.1	115.8	24.02	14.23	28.21	0.85
15:25	99.7	76.4	71	113.2	115	115.6	24.09	14.18	28.25	0.85
15:27	100.3	75.2	69.8	113.3	115.1	115.6	24.03	14.12	28.16	0.85
15:29	97.3	75.8	71	113.5	115	115.9	23.99	13.96	28.06	0.85
15:31	98.5	78.8	70.4	113.5	115.1	115.9	24.15	14.27	28.37	0.85
15:33	99.7	80	70.4	113.3	115.3	115.9	24.35	14.53	28.68	0.84
15:35	99.7	79.4	69.8	113	115	115.6	24.17	14.45	28.48	0.84
15:37	103.3	78.2	69.2	113.5	115	115.6	24.32	14.83	28.77	0.84
15:39	105.8	78.2	72.2	113	115	115.5	24.97	14.76	29.32	0.85
15:41	105.2	78.8	72.8	113	115	115.5	25.06	14.84	29.43	0.85
15:43	106.4	74.6	73.4	113	115.3	115.6	24.95	14.37	29.06	0.85
15:45	105.8	75.2	74.6	113.3	115.6	115.9	25.25	14.47	29.36	0.86
15:47	102.7	75.8	75.8	113.3	115.6	115.8	25.07	14.44	29.19	0.85
15:49	102.1	75.2	75.8	113.2	115.3	115.6	24.95	14.42	29.08	0.85
15:51	102.7	78.2	75.8	113.2	115.1	115.6	25.27	14.66	29.5	0.85
15:53	103.3	78.2	74.6	113.2	115.3	115.8	25.17	14.69	29.41	0.85
15:55	104	81.9	74	113.2	115.1	115.8	25.4	15.06	29.79	0.85
15:57	102.7	81.9	72.8	113.2	115.3	115.9	25.07	15.06	29.5	0.84

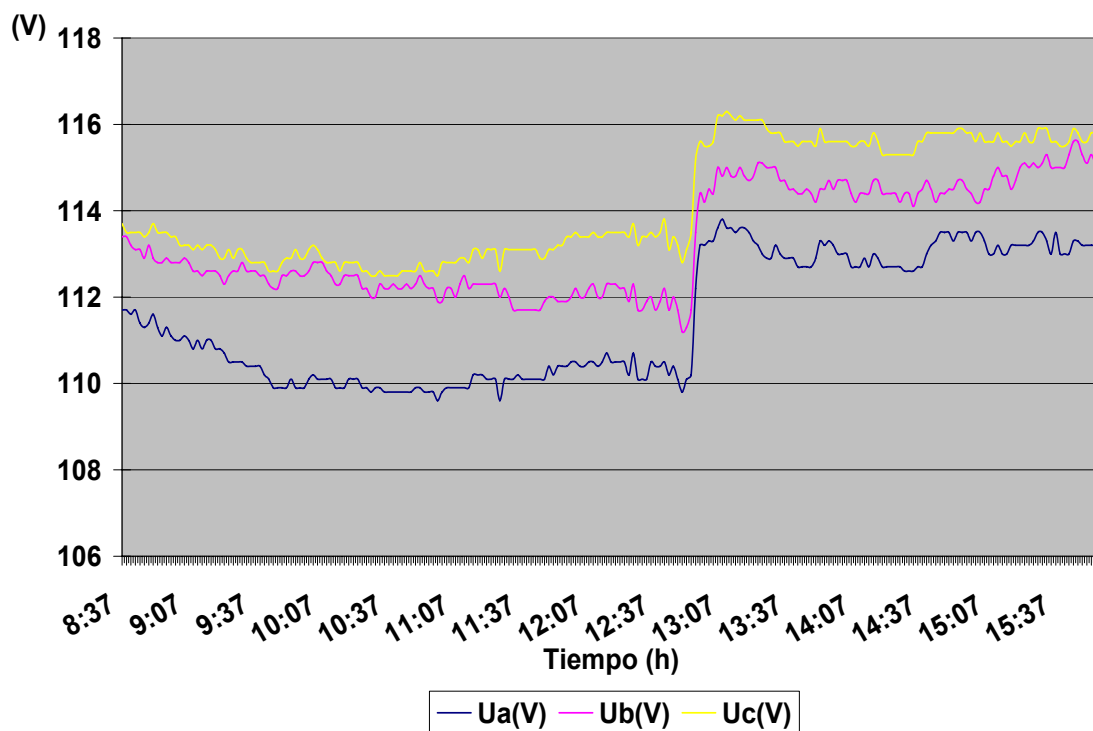
Tabla # 16 Mediciones del sistema.

Este transformador es de 50 KVA con tensión por el primario de 440 V y por el secundario de 220 V con conexión  $\Delta/Y$  aterrada. Alimenta las zonas 3 y 4, cardiología, psiquiatría, consolas del tercer piso.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 16

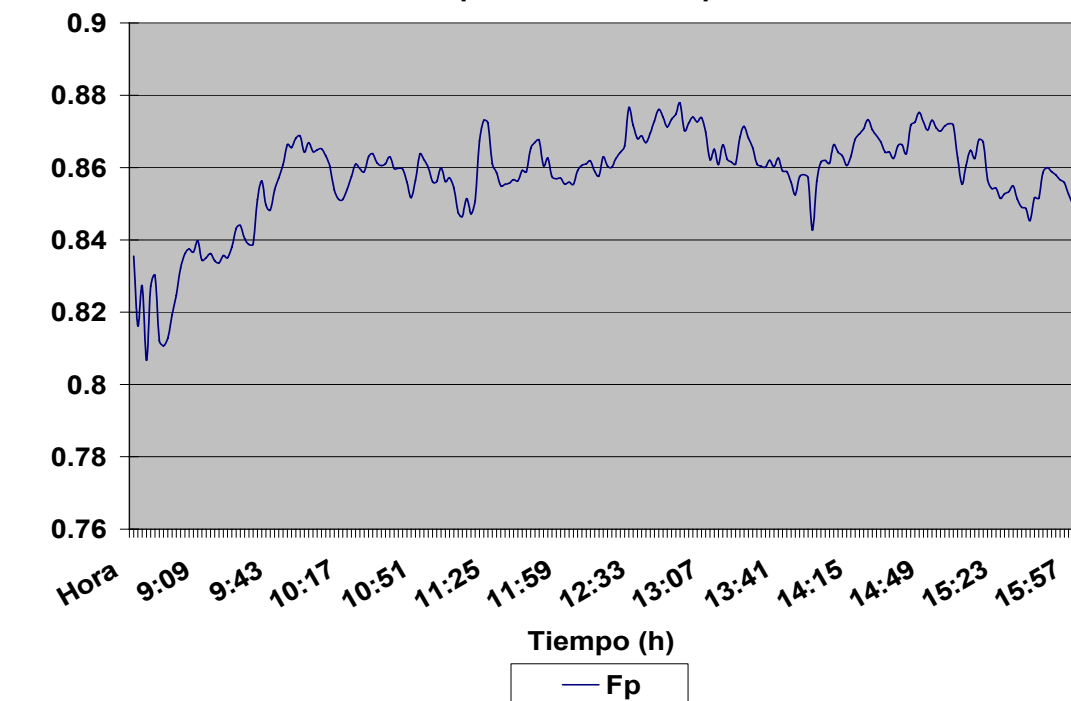


### Comportamiento de las tensiones por fase.



(cos  $\phi$ )

### Comportamiento del Fp.

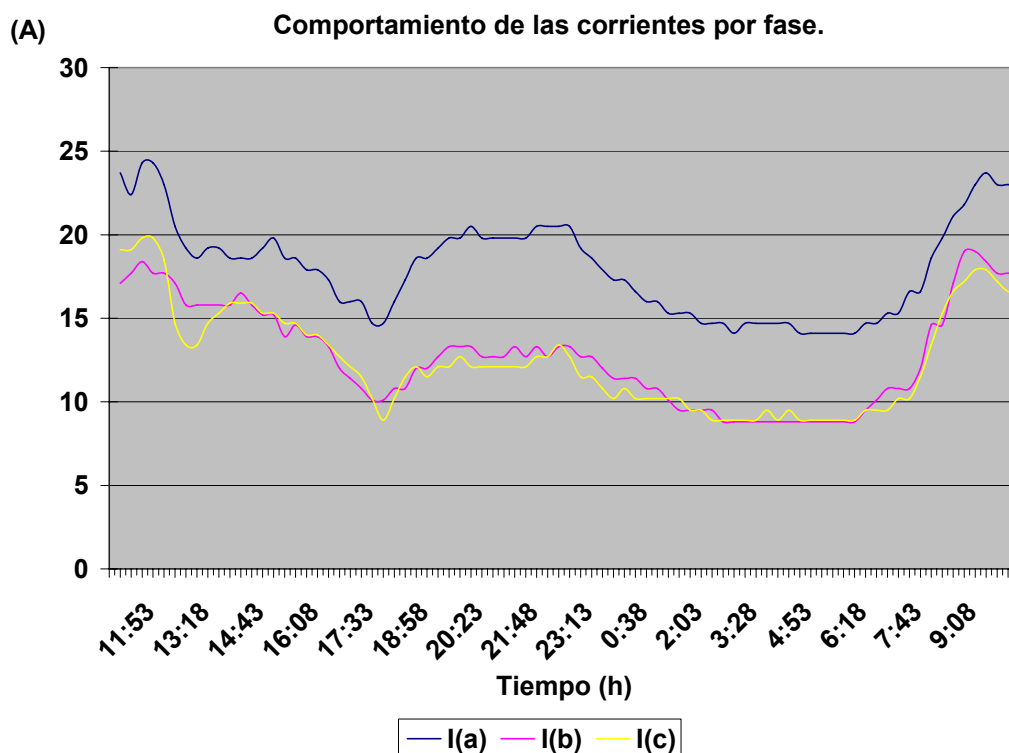
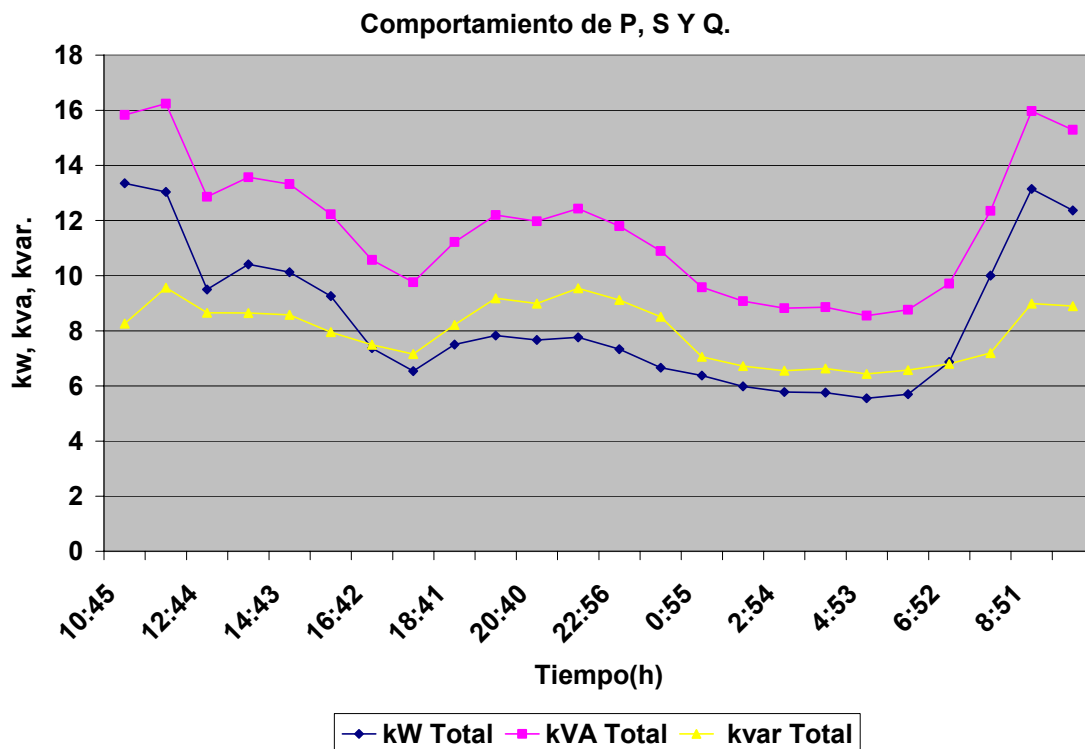


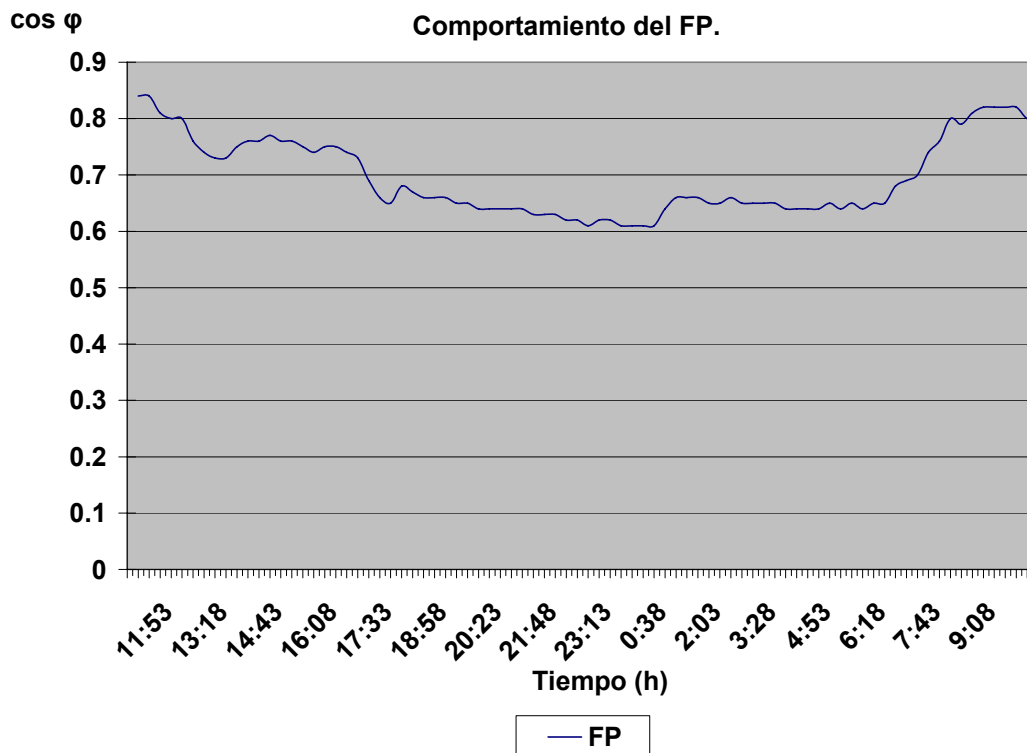
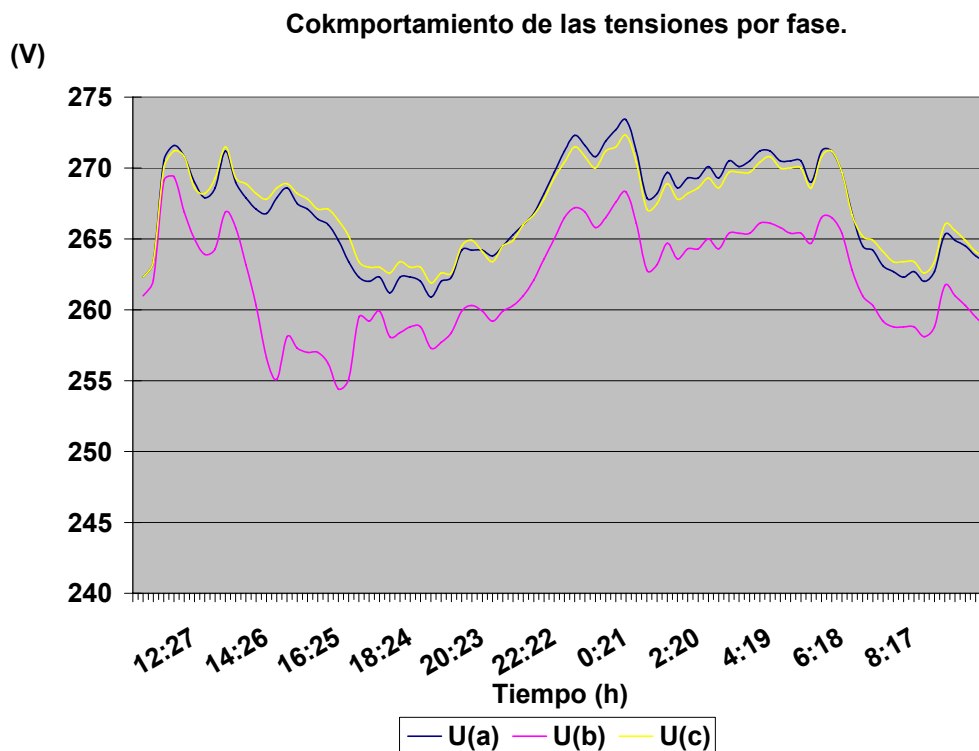
#### Anexo 1.17 Circuito normal.

Hora	I(a)	I(b)	I(c)	U(a)	U(b)	U(c)	kW	kVA	VAr	FP
10:45	23.7	17.1	19.1	262.3	261	262.3	13.35	15.83	8255.88	0.84
11:36	24.3	17.7	19.8	271.6	269.4	271.2	13.69	16.93	9776.06	0.8
11:53	23	17.7	18.5	270.8	266.9	270.8	13.04	16.24	9569.05	0.8
12:10	20.5	17.1	14.7	269	265	268.6	10.83	14.22	9210.97	0.76
13:01	19.2	15.8	14.7	271.2	266.9	271.5	9.99	13.54	9121.34	0.73
13:52	18.6	16.5	15.9	267.1	260.3	268.2	10.41	13.57	8648.93	0.76
14:09	18.6	15.8	15.9	266.8	256.6	267.8	10.2	13.21	8327.58	0.77
14:43	19.8	15.2	15.3	268.6	258.1	268.9	10.13	13.32	8582.83	0.76
15:00	18.6	13.9	14.7	267.5	257.3	268.2	9.49	12.61	8224.87	0.75
15:51	17.9	13.9	14	266	256.2	267.1	9.26	12.23	7954.71	0.75
16:08	17.3	13.3	13.4	264.9	254.4	266.3	8.79	11.74	7713.65	0.74
16:59	16	10.8	11.5	262	259.2	263	6.66	10.08	7474.23	0.66
17:16	14.7	10.1	10.2	262.3	259.9	263	6.18	9.39	7027.08	0.65
17:50	16	10.8	10.2	262.3	258.4	263.4	6.54	9.76	7159.52	0.67
18:07	17.3	10.8	11.5	262.3	258.8	263	7.04	10.61	7813.78	0.66
18:58	19.2	12.7	12.1	262	257.7	262.6	7.67	11.7	8693.61	0.65
19:15	19.8	13.3	12.1	262.3	258.4	262.6	7.76	11.93	8921.88	0.65
19:49	20.5	13.3	12.1	264.2	260.3	264.9	7.83	12.2	9182.33	0.64
20:06	19.8	12.7	12.1	264.2	259.9	264.1	7.72	11.95	8954	0.64
20:57	19.8	13.3	12.1	265.3	260.3	264.9	7.76	12.15	9187.71	0.63
21:14	19.8	12.7	12.1	266	261	266	7.74	12.17	9210.22	0.63
21:48	20.5	12.7	12.7	268.2	263.6	267.8	7.76	12.43	9546.54	0.62
22:05	20.5	13.3	13.4	269.7	265	269.3	7.88	12.66	9747.11	0.62
22:56	18.6	12.7	11.5	271.6	266.9	270.8	7.33	11.8	9122.66	0.62
23:13	17.9	12	10.8	270.8	265.8	270	6.96	11.23	8705.19	0.61
23:30	17.3	11.4	10.2	271.9	266.5	271.2	6.73	10.88	8430.57	0.61
23:47	17.3	11.4	10.8	272.7	267.6	271.5	6.66	10.89	8505.15	0.61
0:04	16.6	11.4	10.2	273.4	268.3	272.3	6.47	10.54	8250.93	0.61
0:55	15.3	10.1	10.2	268.2	263.2	267.5	6.38	9.58	7053.02	0.66
1:29	15.3	9.5	9.5	268.6	263.6	267.8	6.09	9.23	6807.06	0.65
1:46	14.7	9.5	9.5	269.3	264.3	268.2	5.98	9.08	6722.49	0.65
2:03	14.7	9.5	8.9	269.3	264.3	268.6	5.88	8.87	6543.82	0.66
2:54	14.7	8.8	8.9	270.5	265.4	269.7	5.78	8.82	6549.3	0.65
3:11	14.7	8.8	8.9	270.1	265.4	269.7	5.83	8.95	6670.37	0.65
3:45	14.7	8.8	8.9	271.2	266.1	270.4	5.76	8.86	6633.06	0.64
4:02	14.7	8.8	9.5	271.2	266.1	270.8	5.77	8.93	6706.96	0.64
4:36	14.1	8.8	8.9	270.5	265.4	270	5.57	8.56	6430.1	0.65
5:27	14.1	8.8	8.9	271.2	266.5	270.8	5.57	8.59	6469.49	0.64
5:44	14.1	8.8	8.9	271.2	266.5	271.2	5.7	8.76	6575.57	0.65
6:01	14.7	9.5	9.5	269.7	265.4	269.7	5.95	9.11	6798.64	0.65
6:52	15.3	10.8	10.2	264.2	260.3	264.9	6.87	9.71	6802.24	0.7
7:09	16.6	10.8	10.2	263.1	259.2	264.1	7.52	10.15	6714.61	0.74
8:00	19.8	14.6	15.3	262.7	258.8	263.4	10.54	13.23	7904.29	0.79
8:51	23	19	17.9	265.3	261.7	266	13.15	15.97	8989.48	0.82
9:42	23	17.7	16.6	263.8	259.5	264.1	12.29	15.21	8855.56	0.8
9:59	23	17.7	16.6	263.4	258.8	263.7	12.37	15.29	8892.46	0.8

Tabla # 17 Mediciones del sistemas.

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 17



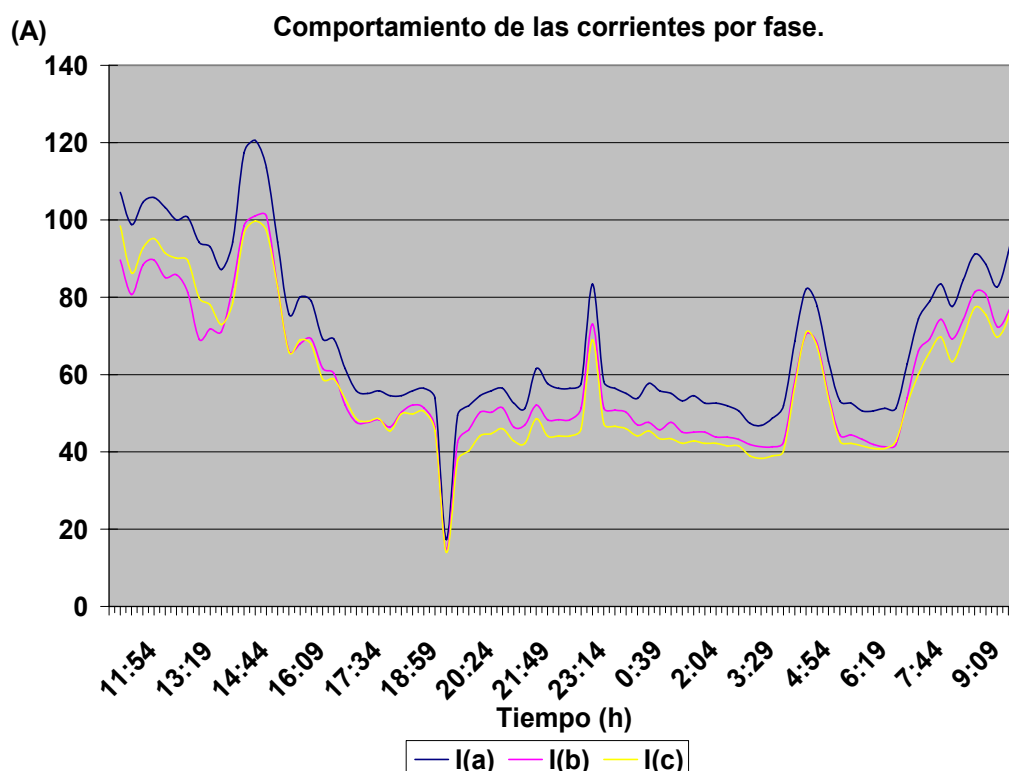
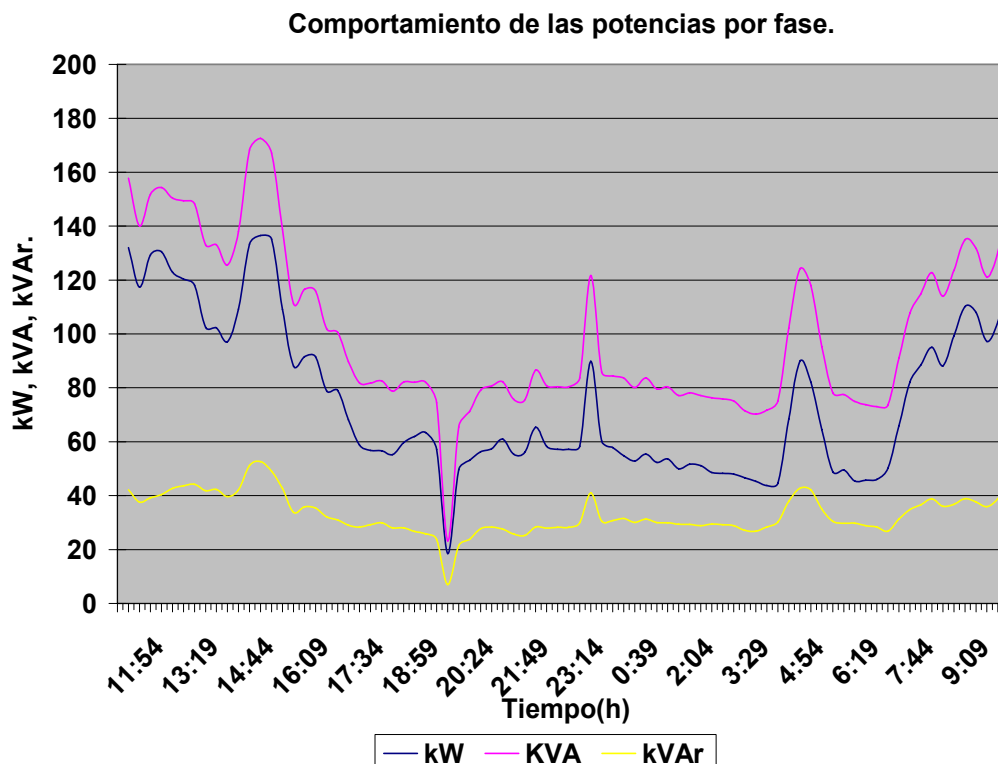


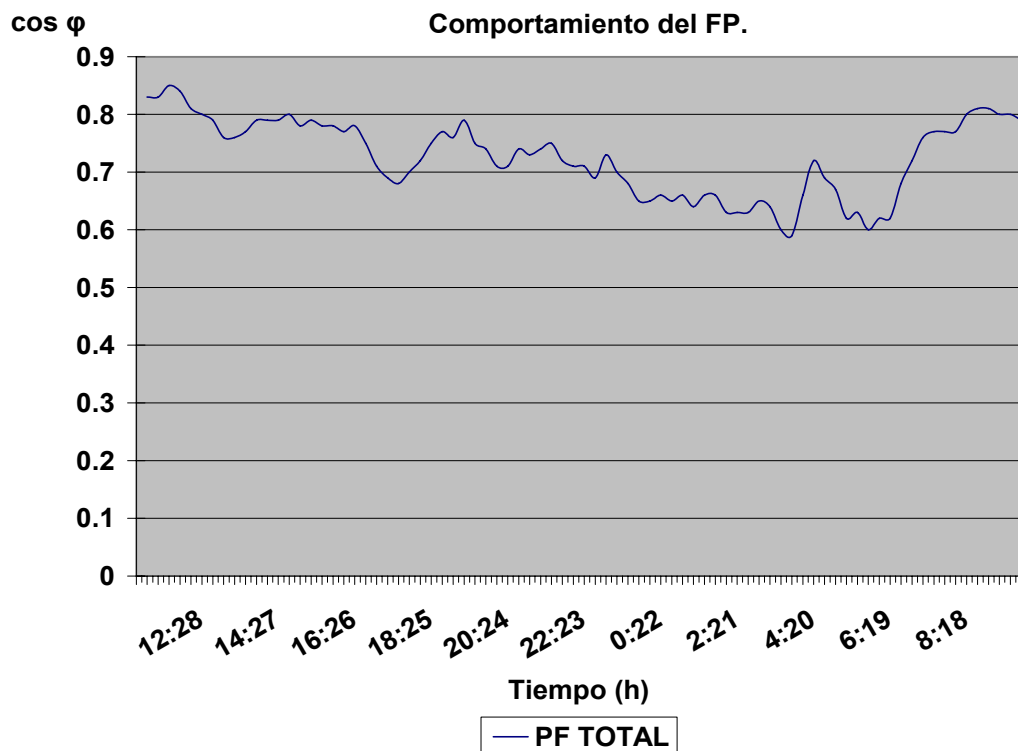
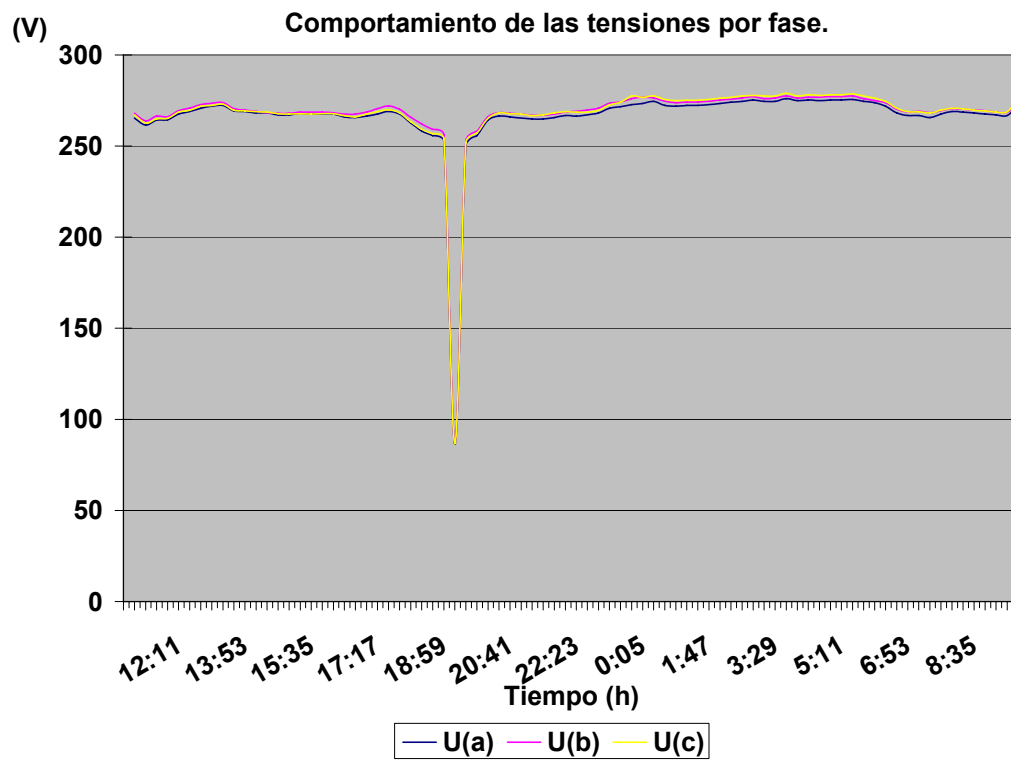
**Anexo # 1.18 Circuito de emergencia.**

Hora	I(a)	I(b)	I(c)	U(a)	U(b)	U(c)	kW	KVA	kVAr	PF
10:46	107.1	89.6	98.4	265.3	268	267.1	132.08	157.82	42.14	0.83
11:03	98.8	80.7	86.3	261.6	263.9	262.6	117.42	140.1	37.6	0.83
11:54	103.2	85.1	91.4	267.5	269.4	268.6	122.96	150.4	42.67	0.81
12:11	100	85.8	90.1	269	270.9	269.7	120.34	149.42	43.68	0.8
13:02	93	71.8	78	272.3	273.8	273	102.28	133.14	42.26	0.76
13:53	117.4	98.5	96.5	268.2	269.1	268.9	133.32	168.26	51.21	0.79
14:10	120.6	101	99.7	268.2	268.3	268.6	136.56	172.56	52.59	0.79
14:27	113.5	101	97.2	267.1	268	267.8	135.12	167.16	49.05	0.8
14:44	94.3	82.6	82.5	267.1	268	267.5	109.12	138.84	42.67	0.78
15:01	75.7	66.1	65.8	267.9	268.7	267.8	88.06	111.24	33.77	0.79
15:52	69.2	61.6	58.8	267.5	268.3	267.8	78.86	101.9	32.15	0.77
16:09	69.2	60.3	58.8	266	267.6	266.7	79.06	100.64	31.01	0.78
16:43	55.8	47.6	48.6	266.4	268.7	267.5	58.8	81.86	28.3	0.71
17:00	55.1	47.6	47.9	267.5	270.5	268.9	56.76	81.74	29.25	0.69
17:51	54.5	50.2	49.8	262.7	265.8	263.4	59.68	82.14	28	0.72
18:08	55.8	52.1	49.8	258.3	262.1	259.3	61.94	82.06	26.74	0.75
18:59	17.3	14.6	14	86.3	87.6	86.6	18.52	23.24	7.02	0.79
19:16	49.4	42.5	37.7	250.2	252.9	251.9	49.56	65.46	21.38	0.75
19:50	54.5	50.2	44.1	264.2	266.1	265.2	56.28	79.1	27.75	0.71
20:07	55.8	50.2	44.7	266.4	268.3	268.2	57.44	80.74	28.35	0.71
20:58	51.3	47	42.2	264.9	266.9	266.7	56.06	75.44	25.19	0.74
21:15	61.5	52.1	48.6	264.9	266.9	267.1	65.36	86.54	28.34	0.75
21:49	56.4	48.3	44.1	266.8	268.7	268.9	57.16	80.38	28.25	0.71
22:06	56.4	48.3	44.1	266.4	269.1	268.6	57.2	80.38	28.24	0.71
22:57	58.3	51.4	47.3	270.8	273.5	272.6	60.26	85.9	30.58	0.7
23:14	56.4	50.8	46.6	271.6	274.2	274.1	57.88	84.46	30.72	0.68
23:48	53.8	47	44.1	273.4	276.8	276.7	52.84	80.1	30.07	0.65
0:05	57.7	47.6	45.4	274.5	276.4	277.5	55.46	83.64	31.29	0.66
1:13	54.5	45.1	42.8	272.3	274.2	275.2	51.6	78.12	29.31	0.66
1:47	52.6	43.8	42.2	273.4	275.3	276.3	48.58	76.34	29.43	0.63
2:04	51.9	43.8	41.5	274.1	275.7	276.7	48.3	75.86	29.23	0.63
2:55	46.8	41.3	38.3	274.5	276	277.5	45.34	70.22	26.77	0.64
3:12	48.7	41.3	39	274.5	276.4	277.5	43.76	71.76	28.43	0.6
3:46	68.6	58.4	56.9	274.9	276.4	277.5	68.38	102.1	37.86	0.66
4:03	82.1	70.5	70.9	275.3	276.8	278.2	89.8	124.08	42.65	0.72
4:54	53.2	44.4	42.8	275.3	277.1	278.2	48.86	78.14	30.47	0.62
5:11	52.6	44.4	42.2	275.6	277.5	278.6	49.54	77.5	29.78	0.63
5:45	50.6	41.9	40.9	273.8	274.9	276.3	45.72	73.72	28.87	0.62
6:02	51.3	41.3	40.9	271.9	273.8	274.5	46	73.06	28.35	0.62
6:53	74.4	66.1	60.1	266.8	269.1	268.9	82.12	107.72	34.85	0.76
7:10	78.9	69.2	65.8	265.7	268.3	268.2	88.46	114.88	36.57	0.77
7:44	77.6	69.2	63.3	269	270.5	270.8	88.12	113.96	36.09	0.77
8:01	84.6	74.3	69.7	268.6	270.2	270.4	99.28	123.64	36.75	0.8
8:52	82.7	72.4	69.7	267.1	268.7	268.6	97.18	121.04	35.95	0.8
9:09	91.7	76.2	74.8	266.8	268.7	268.9	104.5	130.36	38.85	0.8
9:26	105.8	84.5	88.8	273	273.5	276	122.24	153.16	45.7	0.79

**Tabla # 18 Mediciones del sistema.**

Gráficos del comportamiento de las potencias, corrientes y factor de potencia respectivamente correspondientes a la tabla # 18.





#### Anexo 1.19 Modelos para diferentes elementos del sistema.

##### Modelo para líneas y cables.

Las líneas presentan diferentes modelos en función de su longitud y se representan mediante circuitos equivalentes en  $\pi$ , en este trabajo se utiliza fundamentalmente el modelo para las líneas y cables cortos, debido a que las longitudes de los conductores dentro del territorio de la industria no exceden los 50km, en este caso la reactancia capacitiva para líneas y cables puede despreciarse sin afectar los cálculos de flujo de carga). En el caso de los cables se puede aplicar el mismo modelo de las líneas, para ambos casos los valores de las resistencias son similares, no ocurriendo lo mismo para las reactancias. La reactancia inductiva de un cable es generalmente un cuarto de la reactancia de la línea. En el cable se debe considerar la reactancia capacitiva (ver IEEE STD 1997. a)

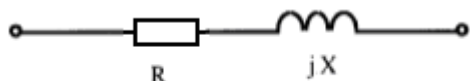


Figura 1. Modelo para las líneas a frecuencia fundamental a) y a frecuencia armónica b).

Para el análisis armónico la resistencia se corrige debido al efecto pelicular para las altas frecuencias.

##### Modelo para transformadores

Los transformadores de doble devanado pueden representarse con circuitos equivalentes en T según el modelo de la IEEE. Std399-1997. En este trabajo se adoptó un modelo simple para el análisis a frecuencia fundamental donde los parámetros fundamentales dados en el modelo son la potencia aparente en MVA, la impedancia Z en % y la relación X/R del transformador.

Para el análisis a frecuencia armónica se consideró el modelo de la figura 2. La reactancia varía linealmente con la frecuencia y la resistencia varía respondiendo al efecto pelicular. Algunos autores emplean modelos más complejos considerando la rama de magnetización, pérdida del núcleo, y la capacitancia entre devanados del transformador.

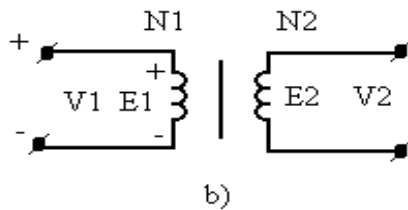


Figura 2. Modelo del transformador

### Condensadores

Los condensadores son usados en los sistemas de distribución para la compensación de las pérdidas y mejorar la estabilidad del sistema, ellos son representados por una reactancia con signo negativo de la forma en serie con la reactancia de la línea.

### Anexo: 2.1 Aspecto visual del DYCSSE.

Visualmente su ventana principal presenta el siguiente aspecto:



Figura 1: Ventana y Menú Principal del DYCSSE

Cada opción del menú principal que se muestra se despliega en submenús que permiten ejecutar las principales tareas implementadas:



Figura 2: Submenú de Proyectos del DYCSSE.



Figura 3: Submenú de Gráficos del DYCSSE.

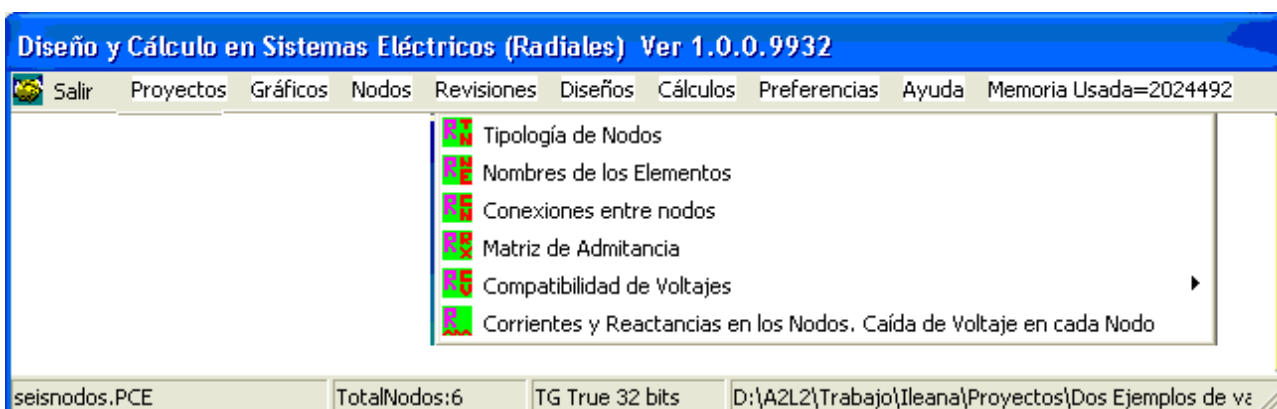


Figura 4: Submenú de Revisiones del DYCSSE.



Figura 5: Submenú de Diseños del DYCSSE.

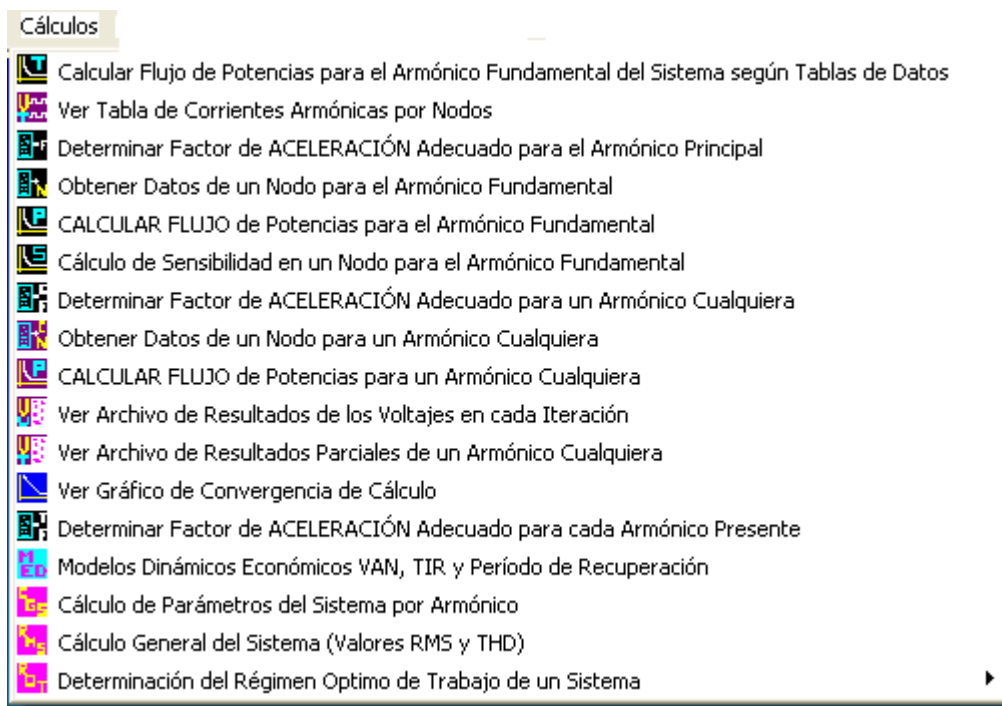


Figura 6: Submenú de Cálculos del DYCSSE.



Figura 7: Submenú de Preferencias del DYCSSE.

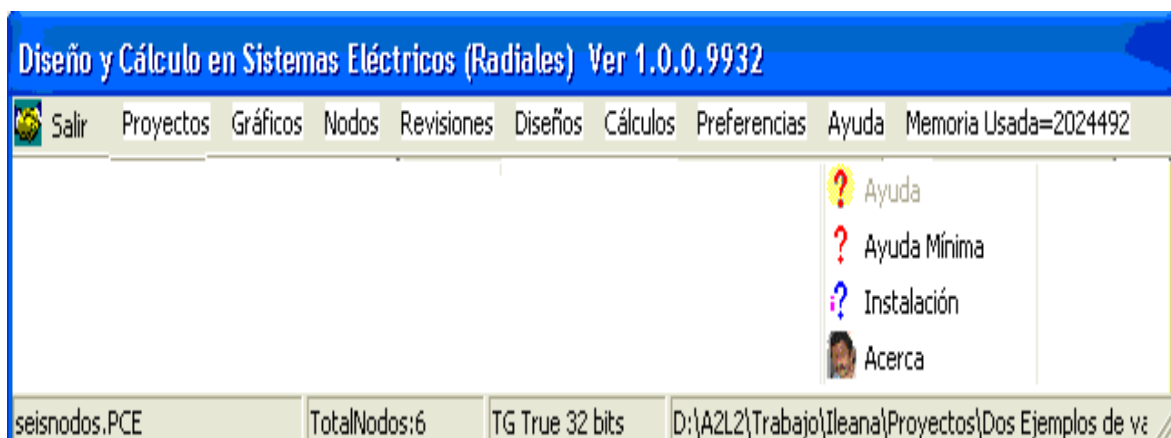


Figura 8: Submenú de Ayuda del DYCSSE.

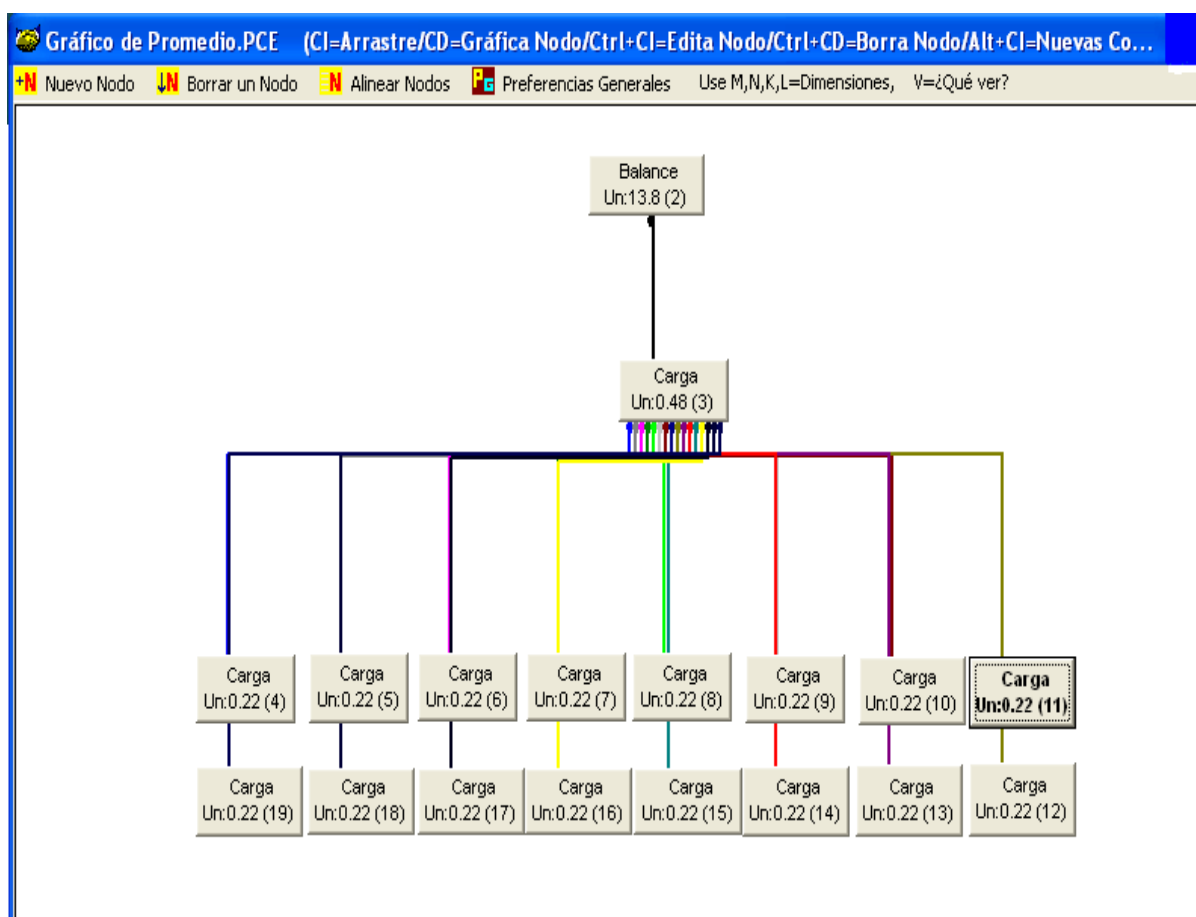


Figura 9: Gráfico del DYCSSE.

## Anexo: 2.2 Equipos escogidos para la compensación.

### regulador de energía reactiva Varlogic



#### regulador de energía reactiva Varlogic

- Características comunes a los modelos R6, R12 y RC12:
  - Visualización en pantalla del  $\cos \phi$  y escalones conectados.
  - Ajuste de datos digital.
  - Ajuste automático del C/K.
  - Contacto de alarma separado.
  - Visualización en pantalla de la causa de la alarma: falta de kVar,  $\cos \phi$  capacitivo, C/K incorrecto, sobretensión, sobrecarga...
  - Protección de los condensadores frente a microcortes.

ref.	descripción	P.V.P.
52400	Varlogic R6	321,90
52401	Varlogic R12	414,10
52403	Varlogic RC12	599,60



#### Batería automática Minicap estandar 480 V.

- Envoltorio: Prisma G.
- Tensión asignada:
- Frecuencia: 50 Hz.
- Grado de protección: IP21.
- Instalación mural.
- Prever un TI X/5, 5 VA.
- Componentes:
  - Condensadores Varplus con protección interna.
  - Contactores Telemecanique con resistencias de preinserción.
  - Fusible APR.
  - Regulador de E.R. Varlogic R6.

ref.	pot. (kVar)	composición física	P.V.P.
530800C	7,5	2,5+5	779,00
530801C	10	2,5+2,5+5	923,00
530802C	12,5	2,5+2+5	984,00
530803C	15	5+10	943,00
530804C	17,5	2,5+5+10	979,00
530805C	20	5+5+10	1.005,00
530806C	22,5	7,5+15	1.061,00
530807C	25	5+2+10	1.081,00
530875C	27,5	2,5+5+2+10	1.538,00
530808C	30	10+20	1.143,00
530809C	30	7,5+7,5+15	1.189,00
530810C	30	5+5+2+10	1.599,00
530811C	35	5+10+20	1.614,00
530812C	37,5	7,5+2+15	1.645,00
530896C	37,5	2,5+5+3+10	1.666,00
530813C	40	10+10+20	1.671,00
530814C	40	5+5+3+10	1.727,00
530815C	45	3+15	1.763,00
530816C	45	7,5+7,5+2+15	1.799,00
530817C	45	5+4+10	1.891,00
530818C	50	10+2+20	1.922,00



### transformadores de intensidad X/5 de núcleo abierto

Transformadores de núcleo abierto y sección rectangular que deberán conectarse a las bornas KL previstas para este fin en el regletero de la batería. Su instalación se deberá realizar a la salida del interruptor general de la instalación y siempre aguas arriba del punto de conexión de la batería (en el caso de que se realice una compensación global de la instalación).

#### Características:

- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Tensión de aislamiento: 0,72/3 kVca.
- Sobrecarga en régimen permanente: 1,2 ln.
- Temperatura de trabajo: -10 °C, + 50 °C.
- Clases de precisión:
- Sección 20 x 30: clase 3 (excepto 200/5 clase 1).
- Secciones 50 x 80, 80 x 100 y 80 x 125: clase 1.

ref.	relación	secc. interna (mm)	P.V.P.
15570RT	100/5	20 x 30	72,80
15571RT	150/5	20 x 30	72,80
15572RT	200/5	20 x 30	72,80
15574RT	250/5	50 x 60	81,00
15575RT	300/5	50 x 60	81,00
15576RT	400/5	50 x 60	81,00
15577RT	600/5	50 x 60	81,00
15578RT	750/5	50 x 60	81,00
15579RT	800/5	50 x 60	81,00
15580RT	1000/5	50 x 60	81,00
15582RT	750/5	80 x 100	88,20
15583RT	800/5	80 x 100	88,20
15584RT	1000/5	80 x 100	88,20
15585RT	1500/5	80 x 100	88,20
15586RT	2000/5	80 x 100	88,20
15588RT	750/5	80 x 125	126,10
15589RT	800/5	80 x 125	126,10
15590RT	1000/5	80 x 125	126,10
15591RT	1500/5	80 x 125	126,10
15592RT	2000/5	80 x 125	126,10
15593RT	2500/5	80 x 125	126,10
15594RT	3000/5	80 x 125	126,10

Anexo: 2.3 Imágenes del sistema de distribución.

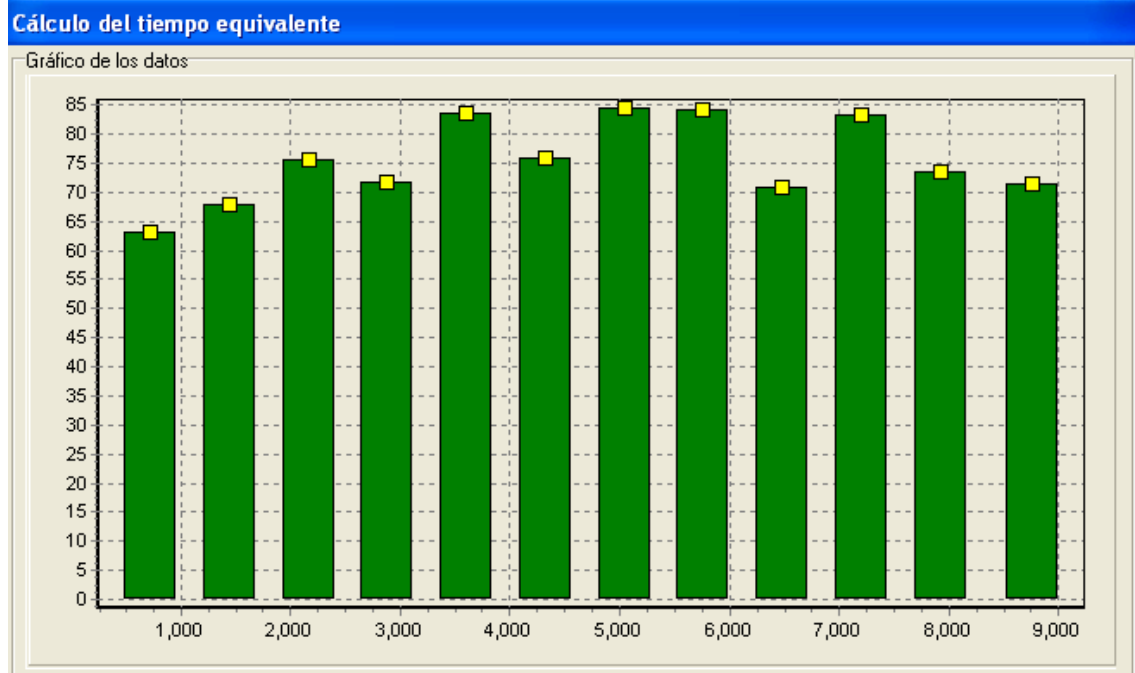




Transformador Principal 1000 kVA.



## Anexo: 2.4 Gráfico del tiempo equivalente de trabajo del sistema.



### Monolineal Hospital.

