



República de Cuba  
Ministerio de la Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“ Dr. Antonio Núñez Jiménez ”

## TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

**Título: Propuesta de modificaciones en el sistema de suministro eléctrico de los grupos Fuel-Oil de la CTE de Felton.**

*Autor: Néstor Días Rodríguez*  
*Tutores: Ing. Yunier Cruz Blanco.*  
*Ing. Raudelkjis Caraballo.*

*MCA 2012*

*“Año 54 de la Revolución”*

# *DECLARACIÓN DE AUTORIDAD*

Yo, Néstor Díaz Rodríguez, autor del trabajo de diploma “Propuesta de modificaciones en el sistema de suministro eléctrico de los grupos Fue I- Oil de la CTE de Felton, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

---

Firma del Autor

Los siguientes firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener una investigación de esta envergadura, referida a la temática señalada.

---

Firma del Tutor

---

Jefe de Departamento

---

Jefe de Carrera

# *PENSAMIENTO*

***“... el futuro de Cuba tiene que ser necesariamente,  
un futuro de hombres de ciencia,  
un futuro de hombres de pensamiento”.***

***Fidel Castro Ruz.***



# DEDICATORIA

A mis madres Alejandro y María  
por la dedicación y amor de toda  
una vida.

*A mi familia y amigos,  
que fueron incansables  
en brindarme su ayuda  
en todo momento.*

# *AGRADECIMIENTOS*

A mis padres, mis hermanos y a toda mi familia, por el amor y apoyo de siempre.

A mi novia, por la confianza, la espera y por su amor en todo momento.

Deseo hacer llegar mis más sinceros agradecimientos:

A mis tutores Yunier Cruz y Raudelkis Caraballo por su ayuda desinteresada, por mostrarme tan magistralmente el camino a seguir durante todo el tiempo que duró la realización de este trabajo. Les agradezco además, todos los conocimientos que me legaron, Muchas Gracias.

A todo el personal del emplazamiento Fuel – Oil de Felton por su cooperación y del centro de control de motores.

A mis amigos Rafael y Yunier por su ayuda incondicional.

A todos los que de una forma u otra han formado parte de la realización de este trabajo y de mi vida profesional.

## *RESUMEN*

Este trabajo se desarrolla en la central termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez” en Felton, municipio Mayarí, provincia Holguín, específicamente en el emplazamiento Fuel – Oil de 24 generadores de 2.5 MW. Se identificó y se caracterizó el sistema de suministro eléctrico lo que nos da una amplia seguridad de que es posible mejorar la confiabilidad del mismo. Para obtener los resultados de la investigación se llevó a cabo un estudio y análisis de los parámetros de la carga de los transformadores; para ello se utilizaron los instrumentos instalados en el sistema más las mediciones reales. Estos muestran que los transformadores de uso de planta están operando en un régimen de baja carga lo que nos da la posibilidad de incrementar más carga real enlazando los transformadores existentes en aras de mejorar la confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico y la disminución de pérdidas por concepto de transformación con su consecuente ahorro energético.

## *SUMMARY*

This research work is realized in Lidio Ramon Perez Power Plant, located in Felton, Mayari, Holguín City, specifically in the Fuel Oil emplacement of 24 engines, 2.5 MW. The electric supply have been identified and characterized, this gives us the security about the possibility for getting better the confidence of the emplacement. In order to get the purpose of the investigation was made a studied and the analysis of the transformers charges parameters, for this, was used the tools installed to the system and the real measures. These shows up that the transformers used in the plants are operating in a regimen of low charge; it gives us the possibility of increasing more real charge connecting the transformers, in order to better up the confidence in the electric supply system and the decreasing of lost by concept of transformation with its consequent energetic saving.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Estudio precedente.	4
1.2 Descripción del flujo tecnológico de la instalación Fuel Oil	6
1.3 Generalidades de los transformadores.	7
1.3.1 Interpretación de los datos de capa del transformador	8
1.3.2 Conexiones de los transformadores	9
1.3.3 Régimen de trabajo económico de los transformadores	10
1.4 Sistema de suministro y confiabilidad	12
1.4.1 Esquemas y opciones que mejoran la confiabilidad de un sistema.	14
1.4.2 Problemas de la confiabilidad vinculados con la calidad de la red.	14
1.5 Selección de los conductores.	16
1.5.1 Selección de la sección de los conductores.	17
1.6 Características de las cargas eléctricas.	18
1.6.1 Designación y clasificación de los gráficos de carga.	20
1.6.2 Coeficientes característicos de los receptores de energía eléctrica y de los gráficos de carga.	20
1.7 Conclusiones parciales.	22
CAPÍTULO 2. ESTUDIO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.	23
2.1 Características del sistema de suministro eléctrico.	23
2.1.1 Descripción del sistema.	24
2.1.2 Descripción de los elementos del sistema.	24
2.1.2.1 Transformadores de potencia.	24

2.1.2.2 Transformadores auxiliares.	25
2.1.2.3 Barra colectora totalizadora de 6 kV.	26
2.1.2.4 Generadores.	26
2.1.2.5 Distribuidores secundarios de 480 VCA MCC.	27
2.1.2.6 Rectificador de CD y baterías.	27
2.1.2.7 Grupo electrógeno de emergencia.	28
2.1.2.8 Sistema de alumbrado.	29
2.2 Análisis del sistema de suministro eléctrico.	29
2.2.1 Levantamiento de carga instalada.	29
2.2.2 Análisis de la tensión y la corriente.	31
2.2.3 Análisis del factor de potencia.	33
2.2.4 Análisis de la potencia activa.	34
2.2.5 Análisis de la potencia reactiva.	35
2.2.6 Análisis de la potencia aparente	36
2.3 Resumen de los resultados obtenidos.	37
2.4 Conclusiones parciales	38
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE MODIFICACIÓN EN EL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.	39
3.1 Factores a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de suministro eléctrico.	39
3.2 Propuesta de modificación en el sistema de suministro eléctrico.	40
3.2.1 Panel del interruptor propuesto.	43
3.2.2 Descripción del interruptor	44
3.3 Ahorro de energía y valoración económica.	44
3.4 Impacto ambiental.	51
3.5 Valoración social.	52

3.6 Conclusiones parciales.	53
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	

# *INTRODUCCIÓN.*

Los sistemas de suministro eléctrico de empresas industriales son subsistemas dentro del sistema electroenergético nacional, el cual satisface el complejo suministro de industrias, transporte, consumidores residenciales agropecuarios del país. Cada empresa industrial se encuentra en un estado permanente de desarrollo que implica, a su vez, mayores consumos de energía eléctrica. El sistema de suministro eléctrico de una empresa industrial deberá ser lo suficientemente flexible como para permitir el constante desarrollo de la tecnología, el crecimiento de la potencia de la empresa y el cambio de las condiciones de producción de esta. Este requerimiento diferencia a los sistemas de suministro eléctrico de empresas industriales del sistema electroenergético, en el que el proceso de desarrollo también existe, pero los lugares de consumo de energía eléctrica las formas de su transmisión y distribución son mucho más estables. Las interrupciones del suministro eléctrico en el ámbito industrial pueden provocar significativas pérdidas a la economía nacional y, en algunos casos averías, acompañadas de lamentables pérdidas humanas o salidas de régimen de costosos equipos e instalaciones.

La optimización de los sistemas de suministro eléctrico de empresas industriales puede y debe proporcionar al país importantes ventajas económicas, debido a la reducción de los gastos improductivos. El presente trabajo tiene el propósito de garantizar un sistema eléctrico confiable dentro del grupo de generación Fuel – Oil de la CTE “Lidio RAMÓN Pérez”. El grupo Fuel – Oil de la CTE “Lidio Ramón Pérez” posee un sistema eléctrico simple y distribuido en tres barras de 6.6 kV desde donde se alimentan 3 transformadores principales independientes que elevan el nivel de voltaje hasta 110 kV hacia la subestación y 6 transformadores auxiliares de 6.6 kV, que reducen el voltaje hasta 480V para uso de la planta en general, de cada transformador de planta se alimenta una barra MCC propia para cuatro motores y una de ellas alimenta una barra *Común* para equipos fundamentales que a su vez es alimentado por un generador diesel de emergencia ( Arranque en Negro). Este sistema no tiene enlace entre barras, la única comunicación entre las barras de 480V es la barra común, cada transformador auxiliar tiene una capacidad de 750 kVA,

suficiente para alimentar dos barras, la suya propia y la MCC Común, si a través de esta última se conectara otra barra entonces se estaría sobrecargando. En caso que se produjera un fallo en uno de los transformadores de uso de planta, una batería de 4 generadores dejaría de producir energía eléctrica, si existiera un enlace entre estas barras y valorando la capacidad de carga en momentos que se requieran se podrían combinar las máquinas sin necesidad de subutilizarlos, evitando así daños al enrollado, sus accesorios y disminuyendo las pérdidas por transformación en el núcleo. Por todas estas causas el sistema de suministro eléctrico de dicha entidad es poco confiable, requiere de un estudio para su posterior modificación y lograr perfeccionar su sistema eléctrico.

**Problema:** Baja confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico de el grupo Fuel – Oil de la CTE de Felton.

**Objeto de estudio:**

Sistema de suministro eléctrico en el Grupo Fuel – Oil de la CTE “Lidio Ramón Pérez”.

**Campo de acción:**

Confiabilidad en sistemas de suministro eléctrico.

**Objetivo general:**

Proponer variante de doble alimentación eléctrica en algunos esquemas principales para mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico.

**Objetivos específicos:**

1. Caracterizar el sistema de suministro eléctrico del grupo Fuel Oil de la CTE “Lidio Ramón Pérez”.
2. Identificación del sistema de de suministro eléctrico del grupo Fuel Oil de la CTE “Lidio Ramón Pérez” que permita verificar la dinámica de las variables y la interrelación que existen entre las mismas.
3. Elaborar la propuesta de solución para la operación del sistema de suministro de dicha entidad en base a los resultados experimentales con una caracterización energética y económica de su futura de la instalación.

**Hipótesis:**

Con la implementación de un enlace de barra entre los esquemas principales de suministro en el grupo Fuel – Oil de la CTE “Lidio Ramón Pérez” se logra tener mayor confiabilidad en el sistema eléctrico.

**Tareas:**

1. Realizar una búsqueda bibliográfica.
2. Caracterizar el sistema eléctrico.
3. Recopilación de mediciones de las variables que intervienen en el proceso.
4. Identificación del Sistema
5. Elaborar la propuesta.
6. Realizar la valoración técnico-económica.

**Resultados Esperados:**

1. Proponer una variante de modificación que garantice un sistema confiable en el emplazamiento Fuel-Oil de la CTE Felton.
2. Garantizar que el sistema sea más confiable y eficiente en aras de mejorar el proceso productivo en los sistemas de suministro eléctrico industrial.

## **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

---

El marco teórico del objeto de estudio permite detectar de forma preliminar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

El objetivo del presente capítulo es establecer el Marco Teórico-Metodológico de la investigación, a partir del estado del arte del tema basado en el análisis de los trabajos precedentes, la metodología seguida para su ejecución así como la base teórica que sustenta la investigación.

### **1.1 Estudios Precedentes.**

Una investigación científica de acuerdo a lo planteado por Aróstegui, J. M. y otros en 1975[1], en cualquier área del conocimiento debe siempre estar sustentada por una investigación empírica y por una investigación teórica, de ahí que sea necesario utilizar los métodos que caracterizan a cada una de ellas para desarrollar científicamente las mismas a partir de una clara caracterización del objeto, del planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis y las tareas.

Para desarrollar la investigación fueron consultados diferentes trabajos y estudios, orientando la revisión bibliográfica en dos líneas fundamentales; por una parte, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del estudio a realizar y por otra los trabajos sobre el tema de sistemas de suministro eléctrico.

Hernández 2000[5], propone mejorar la eficiencia en los sistemas eléctricos industriales utilizando la programación lineal.

Es una necesidad lograr cada vez mayor fiabilidad en el suministro de la energía. En la planta de Calcinación y Sinter se analizó la confiabilidad por Gómez 1999 [4], el cual obtiene las pérdidas económicas que pueden ocasionar cuando el sistema de suministro no es confiable.

Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la

necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas.

En el trabajo de diploma de Liuba de Armas Pérez, del 2010[7], con título: Análisis del Sistema Eléctrico de baja tensión de la planta de Calcinación y Sinter de la empresa Ernesto Che Guevara, se lleva a cabo un análisis de la eficiencia energética en dicha planta y se proponen mejoras técnicas y económicas con el objetivo de minimizar las pérdidas existentes en el sistema eléctrico.

En el trabajo de diploma de Francis Delgado Bordonado, del 2010[9], se realiza un análisis eléctrico a la Empresa Puerto Moa (Comandante Raúl Díaz Arguelles) con el objetivo de evaluar el comportamiento de varios parámetros eléctricos que influyen en la eficiencia del mismo y de ahí proponer medidas para mejorar su eficiencia.

En el trabajo cuyo título es, Temas especiales de sistemas eléctricos industriales del Centro de Estudio de Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos 2008[8], se enfatiza sobre los tipos de gráficos de carga, demanda máxima y los coeficientes típicos de las cargas que caracterizan a los receptores.

Linares, Suárez, H 2011[10], en su trabajo de diploma: Análisis del sistema de suministro eléctrico de la subestación 2SD de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara, realiza la actualización del diagrama monolineal de la subestación a través del levantamiento de las cargas y el control de los parámetros nominales (tensión de línea, corriente de línea y factor de potencia) con ayuda del programa Easy Power. Además, se analiza el comportamiento de las variables eléctricas mediante mediciones realizadas con el analizador de redes programables Power Quality Meter (PQM). Por último, se proponen variantes de mejoras para el esquema de suministro y la valoración económica de las mismas.

## **1.2 Descripción del flujo tecnológico de la instalación Fuel - Oil.**

El combustible llega a una base de combustible a través de pailas pertenecientes a la base de CUPET de Nicaro, las que descargan el combustible fuel (HFO) con dos bombas de engranes hasta dos Tanques de recepción y almacenamiento, uno de 5000 m<sup>3</sup> y otro de 2000 m<sup>3</sup>, estos tanques poseen un calentador a la salida que elevan la temperatura de 65-75 °C para mejorar la viscosidad del combustible y así su traslado hasta los tanques setting.

El combustible diesel llega a una casa de bombas a través de pailas pertenecientes a CUPET, las que descargan el diesel con una bomba hasta el tanque de recepción y almacenamiento, de 100 m<sup>3</sup>, este combustible se utiliza en el arranque y parada de la central eléctrica sin ningún tratamiento, una bomba mantiene una línea común para todo el emplazamiento presionada a 4 – 5 bar, desde donde se alimentan todos los motores.

El emplazamiento consta de 24 moto-generadores divididos por seis baterías de cuatro moto-generadores cada una, cada batería consta de 1 tanque setting y 1 tanques de servicio, en el primero se almacena el combustible (HFO) que va a ser tratado a través de una purificadora de capacidad 1.5 m<sup>3</sup>/h, este combustible se traslada hacia el tanque de servicio.

El combustible (HFO) tratado en el tanque de servicio es succionado por una bomba de suministro que descarga a presión de 4 a 5 bar, luego otra bomba reforzadora eleva esa presión de 7 hasta 10 bar, el combustible pasa por un calentador que eleva la temperatura hasta 155 °C en dependencia del valor de la viscosidad que debe mantenerse entre los 12 - 18 cst, finalmente pasa por un auto-filtro que retiene las pequeñas partículas de sólidos que puedan contener, este combustible ya tratado es el que es consumido por cada motor en su respectiva batería.

Los generadores son accionados por motores de combustión interna de fabricación coreana, Hyundai, 9 cilindros, 900 RPM, dos sistemas de enfriamiento con agua a través de radiadores, un turbo cargador de 30000 rpm, motor de cuatro tiempos y control automático.

Los gases de salida de cada motor son aprovechados por una caldera recuperativa de 7 bar de presión para la producción del vapor, que es utilizado en las líneas de acompañamiento de combustible, en los calentadores y en las purificadoras, etc. El vapor que ya hizo trabajo es recepcionado en un tanque o colector de condensado y se reincorpora al proceso.

El grupo Fuel – Oil de la CTE “Lidio Ramón Pérez” posee un sistema eléctrico simple y distribuido en tres barras de 6.6 kV, a cada ellas llega la generación de 8 generadores, 2.5 MW, cada uno, 900 rpm, enfriamiento por aire, autoexcitación, trifásico, desde donde se alimentan 3 transformadores principales independientes de 25 MVA que elevan el nivel de voltaje hasta 110 kV hacia la subestación. De cada barra de 6.6 kV se alimentan dos transformadores auxiliares de 750 kVA que reducen el voltaje hasta 480V para uso de los equipos auxiliares de cada batería de 4 moto-generadores y mediante una selección de breakers una de ellas alimenta la barra Común de 480V para equipos fundamentales que a su vez es alimentada por el generador diesel de arranque en negro de 106 kW, 60Hz, 1800 RPM, que es utilizado para caso de emergencia en cualquier fallo del sistema **(ver anexo 1)**.

### 1.3 Generalidades sobre los Transformadores.

Un transformador es una máquina eléctrica estática que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro, transformando la tensión ( $u_1$ ) y la corriente ( $i_1$ ) del circuito llamado primario en la tensión ( $u_2$ ) y la corriente ( $i_2$ ) del circuito llamado secundario.

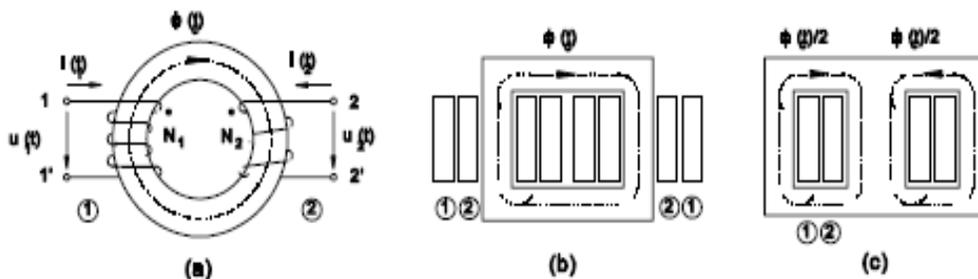


Fig.1.1 Transformadores con núcleo tipo: (a) toroidal, (b) de columnas, y (c) acorazado.

Básicamente, un transformador son dos o más circuitos eléctricos acoplados magnéticamente mediante un flujo común, es decir, son dos o más bobinas acopladas. Cuando el transformador está formado por dos bobinas acopladas, como el de la figura 1 se llama monofásico.

Para conseguir que haya un flujo común entre las bobinas se puede utilizar un núcleo de aire, aunque resulta mucho más sencillo utilizar un núcleo de hierro u otro material ferromagnético (en este caso, el camino a través del aire también existe, aunque el flujo no es común a los dos devanados, y se llama flujo de dispersión). Para que un devanado induzca tensión en el otro, el flujo común ha de ser variable y, para ello, también ha de serlo la corriente que lo cree (con corriente continua constante no se puede inducir tensión).

### **1.3.1 Interpretación de datos de chapa del transformador.**

La chapa de características de un transformador trifásico contiene, entre otros los siguientes datos:

- Potencia nominal  $S_n$  se calcula como  $S$ .
- Tensiones nominales del primario y secundario  $U_2$  y  $U_1$ .
- Intensidades nominales del primario y secundario  $I_{n1}$  e  $I_{n2}$ .
- Relación de transformación  $r_t$ .
- Frecuencia nominal  $f_n$  (es la frecuencia a la que corresponden el resto de los valores nominales).
- Datos de ensayo en vacío: potencia y corriente en valores reales y en p.u.  $w_0$  e  $I_0$ .
- Datos de ensayo en cortocircuito: potencia y tensión en valores reales y en p.u.  $w_{cc}$  y  $e_{cc}$ .
- Tipos de conexión y existencia del neutro, por ejemplo *Dyn*.

Al igual que en otras máquinas eléctricas, la potencia máxima que puede suministrar el transformador está limitada por la calidad de sus aislantes, que se pueden deteriorar por un exceso de tensión o por un exceso de temperatura.

### **1.3.2 Conexiones de Transformadores.**

La conexión de transformadores en paralelo se hace necesaria debido a los incrementos de la demanda que superan la capacidad existente o cuando los requerimientos de confiabilidad y continuidad de operación lo exigen, este es el caso, que si un transformador falla, el otro continuará alimentando la carga sin interrupción.

Cuando la demanda de energía se reduce temporalmente, resulta más económico operar un transformador pequeño cerca de su límite de capacidad a plena carga que un transformador mayor a capacidad reducida.

Por lo que, cuando la demanda energética es muy fluctuante resulta mas provechoso la instalación de dos o más transformadores en paralelo que utilizar un transformador de gran capacidad. En estas condiciones el sistema es más flexible porque tiene la posibilidad de agregar una parte de los transformadores en paralelo cuando sea necesario.

Dos transformadores monofásicos operarán en paralelo si se conectan con la misma polaridad.

Dos transformadores trifásicos operarán en paralelo si tienen el mismo arreglo en los devanados (por ejemplo, Y-Delta), están conectados con la misma polaridad, tienen la misma rotación de fase y su desplazamiento angular es el mismo.

La mínima condición que se le debe exigir a dos transformadores para que trabajen adecuadamente en paralelo es que tengan la misma relación de transformación:

$$K = \frac{U_1}{U_2} \tag{1.1}$$

Donde:

K es la relación de transformación.

$U_1$  es la tensión nominal del devanado primario.

$U_2$  es la tensión nominal del devanado secundario.

Para conectar dos transformadores en paralelo, los diagramas de tensión deben, coincidir. Por supuesto, es necesario que los dos transformadores tengan

impedancia, capacidad nominal y frecuencia similares. La división de la corriente de carga, en proporción a las capacidades de kVA de los transformadores en paralelo está determinada por la igualdad de sus voltajes nominales, relación de vueltas en los devanados, porcentaje de impedancias y relaciones de su reactancia a su resistencia.

Si estas condiciones no se cumplen, las corrientes de carga no se pueden dividir proporcionalmente en las capacidades nominales de kVA de los transformadores, y puede surgir una diferencia de fase entre las corrientes.

En el caso de transformadores trifásicos también es condición indispensable que tengan el mismo índice horario, es decir que pertenezcan al mismo grupo de conexión.

Si los dos transformadores no tienen la misma relación de transformación ( $k$ ), circulará una corriente entre ambos en vacío, de tal manera que sus tensiones secundarias sean iguales. La corriente circulatoria será tanto más elevada, cuanto más diferentes sean las relaciones de transformación, y las pérdidas que produce se evitarían si las relaciones de transformación fueran iguales, estará limitada en magnitud solamente por las impedancias de los devanados primario y secundarios es decir, por las impedancias de cortocircuito.

$$I_i = \frac{\Delta E}{Z_{kl} + Z_{kll}} \quad (1.2)$$

Para simplificar la conexión de los transformadores en paralelo y evitar la necesidad de pruebas de polaridad, rotación de fase etc., el ANSI en su norma C 57. 12. 70-1964 (R-1971) uniforma las marcas y la conexión para transformadores de distribución y potencia. Los transformadores marcados según tal norma, pueden operar en paralelo por la simple conexión de terminales numeradas igualmente.

Por supuesto, esto es aplicable a los transformadores que tienen características similares como la relación de vueltas, impedancia, y desplazamiento angular, etc.

### **1.3.3 Régimen de trabajo económico de los transformadores.**

En condiciones de operación, se debe prever el régimen de trabajo económico de

los transformadores, la esencia de lo cual consiste en que en las subestaciones con varios transformadores, el número de ellos conectados en cada momento debe ser el que proporcione el mínimo de pérdidas, para un gráfico de carga determinado. Para ello deben considerarse no solamente las pérdidas de potencia activa en los propios transformadores, sino también las pérdidas de potencia activa que aparecen en el sistema (desde la fuente de suministro hasta la subestación considerada), debido a los requerimientos de potencia reactiva de los transformadores.

A diferencia de las pérdidas del transformador en sí, a éstas se le denomina referidas y se determinan por la expresión:

$$\Delta P't = \Delta P'sc + Kc^2 * \Delta P'cc \quad (1.3)$$

Donde:

$\Delta P'sc$  = Pérdidas referidas del transformador en vacío (kW).

$\Delta P'cc$  = Pérdidas referidas de cortocircuito (kW).

$Kc$  = Coeficiente de carga del transformador.

$$Kc = \frac{Sc}{Sn} \quad (1.4)$$

Donde:

$Sc$  = Carga real del transformador (o de cálculo), (kVA).

$Sn$  = Potencia nominal del transformador, (kVA).

$$\Delta P'sc = \Delta Psc + Kip * \Delta Qsc \quad (1.5)$$

Donde:

$\Delta Psc$  = Pérdidas de potencia sin carga, (kW).

$\Delta Qsc$  = Potencia reactiva del transformador sin carga, (kVAR).

$$\Delta Qsc = Sn(Isc\% / 100) \quad (1.6)$$

Donde:

$S_n$  = Potencia nominal o de chapa del transformador, (kVA).

$I_{sc}$  = Corriente del transformador sin carga

$K_{ip}$  = Coeficiente incremental de pérdidas de potencia activa (para empresas industriales). Cuando este no es dado por el sistema energético, se debe tomar igual como promedio a 0.07 (kW/kVAR).

$$\Delta P'_{cc} = \Delta P_{cc} + K_{ip} * \Delta Q_{cc} \quad (1.7)$$

Donde:

$\Delta P_{cc}$  = Pérdidas de potencia activa del transformador con carga en (kW).

$\Delta Q_{cc}$  = Potencia reactiva del transformador con carga (kVAR).

$$\Delta Q_{cc} = S_n(V_{cc}\% / 100) \quad (1.8)$$

Donde:

$V_{cc}$  = voltaje de cortocircuito del transformador.

**(Todos los valores deben corresponder al mismo lado del transformador, o sea lado de alta o lado de baja).**

#### **1.4 Sistema de suministros y confiabilidad.**

La confiabilidad de un sistema o equipo se relaciona con la idea de que la probabilidad que dicho equipo o sistema permanezca en funcionamiento por un número de horas (años) sin fallas sea alta. La Norma Británica BS 4778 (1991), la define como la característica de un ítem (o sea de un elemento de un equipo, de un equipo completo o de un sistema), expresada por la probabilidad de que efectúe una función requerida (es decir, que no falle), bajo ciertas condiciones (o sea en condiciones nominales de operación), en un período de tiempo establecido. En los sistemas eléctricos el hecho de, por ejemplo, no disponer de electricidad en momentos inesperados, trae graves consecuencias productivas. Un minuto sin electricidad causará: la pérdida de los datos almacenados en un computador; la

detención de un motor, y por tanto de una cadena productiva; que una operación médica se vea interrumpida o alterada; es decir, en sistemas eléctricos se debe tender a tener la máxima confiabilidad posible debido a que las consecuencias son extraordinariamente relevantes. Son numerosas las acciones que es posible realizar para reducir, al menos parcialmente, la incertidumbre de quedar sin electricidad en un proceso. Así por ejemplo, podemos distinguir los siguientes grupos de acciones:

a) Disponer elementos en paralelo en el sistema. Esta alternativa consiste en diseñar de tal modo que si falla un componente el sistema continúa funcionando. Son ejemplos de esta opción el disponer de un doble circuito de transmisión de electricidad entre el generador de electricidad y la ciudad o industria que se pretende alimentar; iluminar con dos ampollas alimentadas independientemente un acceso peligroso; disponer más de un circuito de energización para una casa, etc.

b) Evitar los elementos en serie en el sistema. Esta alternativa consiste en evitar que el funcionamiento de un sistema dependa de la operación simultánea de varios elementos de confiabilidad baja. Un ejemplo de empleo de elementos en serie es el caso del movimiento de una correa transportadora con un solo motor y un solo convertidor de frecuencia; en este sistema basta que el motor o el convertidor de frecuencia fallen para que la correa de transporte se detenga. Otro ejemplo es el de la iluminación de un aviso publicitario mediante múltiples focos en serie; basta que una falle y el aviso queda totalmente apagado.

c) Mejorar la confiabilidad mediante el empleo de diseños y tecnologías adecuadas. En este aspecto, son múltiples las acciones que es posible llevar a cabo:

- Mejoramiento de instalaciones eléctricas domiciliarias e industriales. Es común observar instalaciones eléctricas en que los consumos son notablemente superiores a los límites de diseño debido al crecimiento del uso de la electricidad en todo tipo de actividad. Los enchufes múltiples conectados a un enchufe único son un ejemplo común que debe ser evitado.

- Mejoramiento de los sistemas de compensación de factor de potencia. Los condensadores entran en resonancia con las reactancias de los transformadores de alimentación e incrementan notablemente la cantidad de armónicas, superándose los límites establecidos por norma, llegándose incluso a la explosión de equipos e interruptores.
  - Mejoramiento de los sistemas de puestas a tierra y cables de neutro. Las corrientes armónicas que circulan por el neutro de los sistemas, provocan diferencias de voltaje entre neutro y tierra que pueden dañar diversos equipos electrónicos. Las mallas de tierra son diseñadas para proporcionar un camino definido de regreso a la fuente de energía con impedancia suficientemente baja, sin embargo, con las corrientes armónicas esta impedancia crece y, por tanto aparecen problemas no previstos por el diseñador.
- d) Disponer de reservas de abastecimiento de potencia y energía mediante múltiples fuentes. Son ejemplos de estos mejoramientos: la construcción de tranques de reserva de energía hidroeléctrica, el disponer de baterías y/o generadores diesel de respaldo, etc.

#### **1.4.1 Esquemas y opciones que mejoran la confiabilidad de un sistema.**

Dentro de los diversos esquemas que mejoran la confiabilidad se incluyen los siguientes:

- a) El uso de varios esquemas modulares en lugar de un solo gran esquema central.
- b) El empleo de equipos de reserva y de reemplazo para la alimentación de cargas críticas.
- c) El diseño de sistemas de distribución de electricidad en paralelo (esquemas de doble circuito) con interruptores automáticos de transferencia.
- d) El empleo de unidades de generación de electricidad de emergencia y de unidades de electricidad ininterrumpible.

#### **1.4.2 Problemas de confiabilidad vinculados con la calidad de la red.**

Los principales problemas de calidad de la red eléctrica son los siguientes:

- a) Interrupción del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas por fallas en las plantas generadoras, en cortes en las líneas de distribución o

desconexión de la carga debido a sobrecarga del sistema, se caracterizan por la pérdida total del suministro por más de un minuto.

.b) Interrupción transitoria del suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones, causadas generalmente por la apertura y cierre de interruptores, se caracterizan por la interrupción del servicio durante menos de un minuto.

c) Transitorios. Se caracteriza por un voltaje impulsivo de alto valor, pero de corta duración, ocasionado en general por la conexión de condensadores o la desconexión de cargas inductivas, tales como motores de inducción, soldadoras de arco, etc.

d) Mala regulación de voltaje. Se caracteriza por bajas o subidas de voltaje de duración superior a un minuto. Se debe, en general, a un mal ajuste de los transformadores de alimentación del sistema, particularmente su voltaje y a un diseño del sistema no apropiado a la demanda de los usuarios. Una demanda alta de los usuarios ocasiona una baja del voltaje y, por el contrario, una demanda baja hace subir el voltaje por sobre lo permitido.

e) Desbalance de voltaje. Se caracteriza por la existencia de asimetría en una de las tres fases de un sistema trifásico. Se debe, en general, a que el consumo está conectado fundamentalmente a una sola de las fases del sistema.

f) Flicker o parpadeo de la iluminación. Se caracteriza por una fluctuación del voltaje que ocasiona el centelleo de la iluminación, visible por el ojo humano. Se debe, fundamentalmente, a la conexión y desconexión de consumos relevantes, tales como el refrigerador o la calefacción intradomiciliaria, conexión de hornos y soldadoras de arco, etc.

g) Distorsión armónica. Se caracteriza por una distorsión del voltaje de alimentación de los equipos, el que deja de ser perfectamente sinusoidal. Se debe, fundamentalmente a la conexión de cargas no lineales en el sistema, tales como equipos electrónicos industriales o domiciliarios: variadores de velocidad de motores, televisores, computadores, etc. El fenómeno puede acentuarse hasta el punto de ocasionar daños irreparables, caso en el que recibe el nombre de resonancia armónica, la que se debe fundamentalmente a la interacción entre los

condensadores de compensación de factor de potencia y las reactancias de los transformadores de alimentación del sistema.

h) Elevación de los voltaje de neutro y tierra. Se caracteriza por una diferencia de voltaje entre el neutro y la tierra del sistema. Se debe, fundamentalmente a que circulan corrientes elevadas por el conductor de neutro y/o por el conductor a tierra, o bien porque su dimensionamiento es inadecuado.

### **1.5. Selección de los conductores**

Todos los conductores poseen resistencia; se requiere de una energía para forzar el flujo de una corriente eléctrica a través de él. El voltaje que se pierde forzando el flujo de corriente se conoce como "caída de voltaje". De ahí que, Independientemente del tamaño de conductor seleccionado, es imposible prevenir que se presenten caídas de voltaje, pero sin embargo debe mantenerse dentro de límites prácticos y razonables.

Las normas recomiendan que los conductores se seleccionen de forma que la caída de voltaje no exceda del 3% para circuitos ramales y de un 2% para circuitos alimentadores principales. La caída de voltaje en cualquier caso puede determinarse empleando la ley de Ohm.

- Caída de voltaje (en voltios = corriente (amperios) x impedancia (ohmios)).
- La impedancia o resistencia total del circuito, depende a su vez de la longitud del mismo y del calibre del conductor.

En la práctica, con seguir normas como las siguientes se puede mantener dentro de los estándares admisibles las caídas de voltaje.

- Ningún conductor se debe cargar más del 80% de su capacidad portadora.
- Los conductores del circuito alimentador de cualquier equipo eléctrico: motor, transformador, condensadores, cargas resistivas etc.; deben seleccionarse con una capacidad portadora igual o superior al 125% de la corriente de placa del elemento.

- En circuitos de potencia o alumbrado no deben utilizarse conductores de sección transversal inferior al No. 14 AWG. Conductores más delgados únicamente en los circuitos de control.
- Se recomienda un nivel de voltaje alto para el sistema de distribución secundario.
- Como la caída es afectada por la corriente y la impedancia, se deben usar conductores con poco espaciamiento.
- Se debe usar conductor de barras de baja impedancia.
- Antes de adoptar la sección del conductor, se deberán satisfacer los siguientes requisitos:
  - Que la caída de tensión cumpla la norma correspondiente.
  - Que el arranque de los motores sea satisfactorio.
  - Que esté garantizada la protección contra el choque eléctrico.
  - Se determina entonces la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$  y se verifican la capacidad térmica y electrodinámica del circuito.
  - Estos cálculos pueden indicar que es necesario utilizar una sección mayor de conductor que el seleccionado previamente.
  - El funcionamiento requerido del equipamiento eléctrico determinará su tipo y características.

### **1.5.1 Selección de la sección de los conductores**

Las secciones de los conductores deben ser seleccionadas teniendo en cuenta una serie de factores. Estos factores se dividen en: técnicos y económicos.

Los factores, que influyen en la selección de los conductores son los siguientes:

- 1) Calentamiento debido al desprendimiento continuo de calor por la corriente de trabajo (de cálculo).
- 2) Calentamiento debido al desprendimiento de calor durante un corto período, producido por la corriente de cortocircuito.
- 3) Pérdidas (caídas) de voltaje en los cables o líneas aéreas debido al paso de la corriente en los regímenes normal y de falla.

- 4) Resistencia mecánica, estabilidad ante la carga mecánica (peso propio, tensión, viento).
- 5) Efactor corona, factor que depende del voltaje aplicado, de la sección del conductor y del medio ambiente.

Para la selección de la sección del conductor o cable, teniendo en cuenta las condiciones, tenemos las siguientes secciones mínimas admisibles:

$S_c$ ) Por calentamiento.

$S_{et}$ ) Por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito.

$S_M$ ) Por resistencia mecánica.

$S_{ec}$ ) Por efecto corona.

$S_{\Delta V}$ ) Por caída de voltaje.

Después de seleccionada la sección mínima admisible del conductor teniendo en cuenta las condiciones técnicas, se procede a la comparación de esta con la sección económica útil. En la actualidad la selección de la sección económica útil se realiza por medio de la denominada densidad económica de la corriente, en dependencia del metal del conductor y el número de horas de utilización de la carga máxima por la formula:

$$S_e = \frac{I_c}{J_e} \quad (1.9)$$

Donde:

$I_c$  = corriente de calculo.

$J_e$  = densidad económica de la corriente.

### **1.6 Características de las cargas eléctricas.**

El término carga se refiere a un aparato o conjunto de ellos que absorben energía del sistema. Se pueden distinguir varias categorías de aparatos: electrónicos, equipos de alumbrado y calefacción y motores. Existen diferencias entre ellos en cuanto a:

1. Tamaño
2. Simetría (monofásica o trifásica)
3. Variación de la energía consumida con respecto al tiempo, a la frecuencia y al voltaje.
4. Ciclo de trabajo (uso regular o aleatorio).

Las cargas se pueden clasificar en industriales y domésticas. Una diferencia importante entre ellas es la alta proporción de motores de inducción en las primeras (aproximadamente 60%). La carga industrial tiene en general ciclos de trabajo predecibles y su demanda puede considerarse esencialmente constante. Las cargas afectan el diseño y operación técnica de los sistemas.

Se pueden resumir las siguientes reglas que caracterizan cargas típicas de un sistema:

1. Se pueden reconocer patrones promedios de variación con el tiempo de la carga conectada a transformadores de distribución. Al nivel de subtransmisión y transmisión se alcanza una situación casi predecible.
2. Las variaciones de carga con el tiempo son relativamente lentas. De minuto a minuto se tiene una carga casi constante. Un minuto es un período largo comparado con las constantes de tiempo eléctricas del sistema y esto permite considerarlo como operando en estado estacionario
3. Una carga típica siempre consume potencia reactiva
4. Una carga típica es siempre simétrica. En el caso de cargas monofásicas la simetría se obtiene distribuyéndolas intencionalmente entre las fases.

El fundamento de la solución racional del complicado conjunto de problemas técnicos – económicos en la proyección de suministro eléctrico de empresas industriales 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 índice técnico – económico del proyectado sistema de suministro eléctrico.

### 1.6.1 Designación y clasificación de los gráficos de carga.

La carga eléctrica caracteriza el consumo de energía eléctrica de: receptores independientes, grupos de receptores en la empresa en su conjunto. Para la proyección y explotación de sistemas de suministro eléctrico son fundamentales tres tipos de carga Potencia activa P, Potencia reactiva Q, y corriente I. La carga eléctrica puede ser observada, visualmente, por medio de instrumentos de medición o registradas por medios registradores. Los cambios de la carga pueden ser registrados en forma de curva continua, o escalonada tal y como se muestra en la Fig.1.1

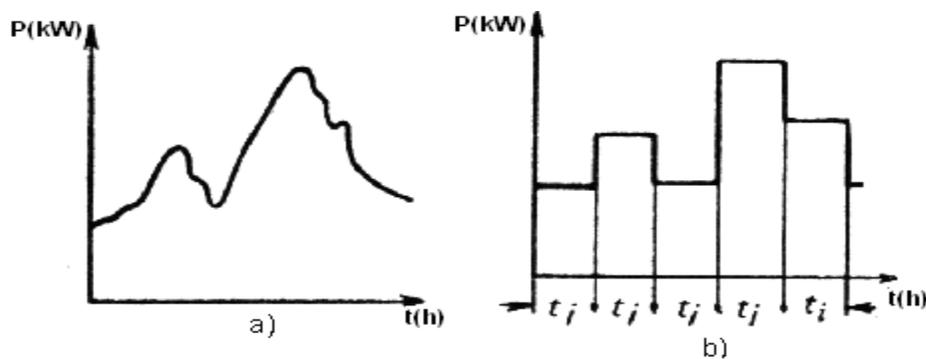


Fig.1.1 Gráficos de cargas: a) continuo; b) escalonado.

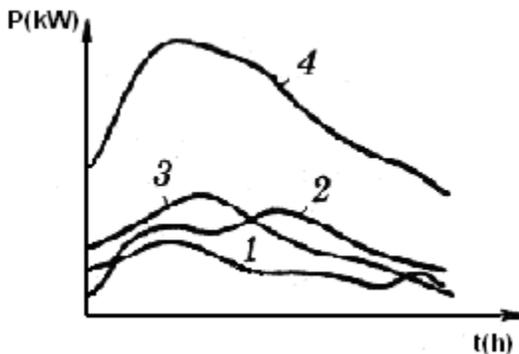


Fig.1.2 Gráfico de cargas, individuales y de grupo 1,2 y 3): Gráficos individuales de las cargas P1 (t), P2 (t) y P3 (t) (Kw. vs. h); 4) Gráfico del grupo  $P(t) = P1(t) + P2(t) + P3(t)$  (k.o. vs. h).

### 1.6.2 Coeficientes característicos de los receptores de energía eléctrica y de los gráficos de carga.

En los cálculos e investigaciones de las cargas se aplican varios coeficientes adimensionales de los gráficos de cargas que caracterizan el régimen de trabajo de los receptores de energía eléctrica.

Los coeficientes de los gráficos de cargas se determinan tanto para los individuales como para los grupos, para potencia aparente, potencia reactiva, y para la corriente.

- **Coeficiente de utilización.**

El coeficiente de utilización es el índice fundamental para el cálculo de la carga.

Se denomina coeficiente de utilización de potencia activa del receptor  $k_{ua}$  o del grupo de receptores  $K_{ua}$ , a la relación de potencia activa media del receptor independiente, o del grupo, a su valor nominal.

$$k_{ua} = \frac{P_m}{P_n}; K_{ua} = \frac{P_m}{P_n} \quad (1.10)$$

Este coeficiente al igual que la potencia media  $P_m$  se refiere, como norma, al turno con máxima carga de los receptores.

- **Coeficiente de carga**

Coeficiente de carga (a.C.) de potencia activa del receptor se denomina a la relación de potencia activa medida consumida por él ( $P_{aco}$ ) (durante el tiempo de conexión k.o.), a su potencia nominal:

$$k_{ca} = \frac{P_{mco}}{P_n} \quad (1.11)$$

El coeficiente de carga esta relacionado directamente con el proceso tecnológico y cambia con el cambio de régimen de trabajo de los receptores. De igual forma el coeficiente de carga de un grupo de receptores viene dado por la relación:

$$K_{ca} = \frac{K_{ua}}{K_{co}} \quad (1.12)$$

- **Coeficiente de demanda**

Se denomina coeficiente de demanda de potencia activa (Vd.) a la relación de potencia activa de cálculo (en las condiciones de proyección) o de consumo (en las condiciones de explotación) a la potencia nominal activa (instalada), del grupo de receptores:

$$K_{da} = \frac{P_c}{P_n} \quad \text{ó} \quad K_{da} = \frac{P_{co}}{P_n} \quad (1.13)$$

De esta manera la magnitud del coeficiente de demanda  $K_d$ , en forma general depende de los índices fundamentales del régimen de trabajo de los receptores y del número efectivo de estos.

El coeficiente de demanda se refiere generalmente a los gráficos de grupos.

### **1.7 Conclusiones parciales.**

Mediante el capítulo se obtuvo un gran conocimiento de los elementos y medios que actúan en el proceso estudiado, de lo que se concluye que:

- En los sistemas de suministro eléctrico industrial se hace necesario un alto nivel de confiabilidad para lograr una mayor producción y eficiencia en el trabajo.
- Los transformadores conectados en paralelo mejoran la confiabilidad de un sistema eléctrico.
- No se han realizado investigaciones para mejorar el sistema de suministro eléctrico en emplazamientos Fuel-Oil de 2.5 MW.

## **CAPÍTULO II: ESTUDIO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO.**

---

Con motivo de conocer las características reales del sistema de suministro eléctrico del emplazamiento Fuel-Oil se realiza el estudio de los transformadores auxiliares de la entidad antes mencionada. Para ello se utilizan instrumentos de medición de alta precisión, localizados en la parte delantera de los paneles en cada uno de los transformadores. Se toman mediciones de las diferentes variables que intervienen en el proceso productivo como tensión, corriente, factor de potencia, potencia activa, reactiva y aparente para luego analizar el comportamiento de cada una de estas y poder establecer un enlace de los transformadores de uso de planta mediante las barras propias (MCC propias) y de esta forma lograr mayor confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico.

Los métodos utilizados en este capítulo para la recopilación de datos y búsqueda de información fueron: Métodos empíricos y el Método de diseño de la Ingeniería ya que estos métodos explican las características observables de los hechos reales y presuponen determinadas operaciones prácticas tanto con los objetivos estudiados como con los medios materiales del conocimiento utilizado por lo que están relacionados con la búsqueda de información.

### **2.1 Características del sistema de suministro eléctrico.**

El emplazamiento Fuel – Oil de 24 generadores de 2.2MW cada uno, situado en el espacio contiguo a la unidad #2 de la CTE de Felton, cuenta con un esquema eléctrico compuesto por tres transformadores de salida de 25MVA cada uno, seis transformadores para el uso de planta, de 750kVA cada uno, tres secciones de barras de 6.6kV colectoras de la generación de los MDU y de donde se alimentan los transformadores del uso de planta. El esquema prevé una sección de 480V (**ver anexo 2**) común por donde se conecta el generador diesel de emergencia (Arranque en Negro) y seis secciones propias desde donde se alimentan los equipos auxiliares de todos los motores y los rectificadores cargadores de los bancos de baterías de 110VCD.

### **2.1.1 Descripción del sistema:**

Para su trabajo el emplazamiento se encuentra dividido en tres baterías de ocho motores cada una, la batería #1 cuenta con:

- 3AT.....Transformador principal de salida.
- TR #1..... Transformador Auxiliar #1.
- TR #2..... Transformador Auxiliar #2.
- Barra colectora totalizadora de 6kV.
- Paneles de control de los motores.
- Generadores.
- MCC#1.....Sección distribuidora de 480VCA #1.
- MCC#2.....Sección distribuidora de 480VCA #2.
- MCC COMUN.....Sección distribuidora de 480VCA para equipos comunes.
- Rectificadores de CD y Baterías.
- Grupo electrógeno de emergencia.
- Sistema de alumbrado.

El esquema eléctrico en las restantes dos baterías es idéntico al de la primera, solo la sección común MCC es única y se encuentra en el ETU 1-2 al lado de los paneles **(ver anexo 2)**.

### **2.1.2 Descripción de los elementos del sistema:**

#### **2.1.2.1 Transformadores de Potencia.**

Estos transformadores fabricados por HYUNDAI (Bulgaria) están destinados para sacar la energía producida por las baterías FUEL hacia el SEN, elevan la tensión de 6,3/ 110kV, núcleo de acero laminado y devanados de cobre con conexión estrella/delta, son regulables bajo carga. Sumergidos en aceite poseen enfriamiento por circulación natural del aceite que se calienta en los devanados hacia los once radiadores adosados al cuerpo del transformador, por el fenómeno de convección, conducción. El tanque de compensación está dividido en dos, una parte conectada al cuerpo del transformador y la otra al selector de derivaciones. El cambia taps está provisto de una palanca para ser operado manualmente en caso de que falte la energía eléctrica u otra eventualidad.

### Datos técnicos de los transformadores.

- Fabricante..... HYUNDAI (Bulgaria).
- Tipo..... TMP 25000/115.
- Pn..... 25MVA.
- Un..... 115+8/-12 x 1,25 %/6,6kV.
- In..... 125,5 /2187A.
- Conexión..... Yn/ D.
- Peso..... 50200Kg.
- Numero de Taps..... 23.

### **2.1.2.2 Transformadores Auxiliares.**

El transformador HYUNDAI MT-0292 diseñado para operación a la intemperie, posee un núcleo compuesto por laminas enrolladas granuladas-orientadas con aislamiento de magnesio-silicato-fosfato, los enrollados son de cobre eléctrico de sección transversal circular cubierto con varias capas de papel de aislamiento resistente al envejecimiento y cubierto con barniz de alta resistencia dieléctrica. Con conexión estrella delta el transformador está sumergido en aceite eléctrico aislante encerrado en un tanque de acero provisto de radiadores de aleta que disipan por circulación natural del aceite el calor generado durante el trabajo del transformador.

### Datos técnicos del transformador.

- Fabricante..... HYUNDAI.
- Tipo..... MT- 0292.
- Pn..... 750kVA.
- Un..... 6600/480V.
- In..... 65.61/902.11A.
- Conexión..... D/ Yn.
- Peso..... 2800Kg.
- Frecuencia..... 60Hz.

### **2.1.2.3 Barra colectora totalizadora de 6kV.**

La sección de barras totalizadora de 6kV está compuesta por 15 paneles, a esta sincronizan ocho generadores, hay un interruptor para el transformador de salida 6,6/110kV que enlaza a los generadores con el SEN, de esta barra se alimentan dos transformadores para el uso de planta de los generadores.

Los interruptores empleados en esta sección son de extinción del arco eléctrico en cámara al vacío, de fabricación coreana HYUNDAI tipo HVF1166 y HVF1152.

- **Descripción del interruptor tipo HVF 1152 y HVF 1166.**

El interruptor empleado en las secciones de 6.6kV en el emplazamiento FUEL OIL es del tipo HVF con cámara de extinción al vacío, en sus versiones 1152 y 1166; estos solo se diferencian en cuanto a su corriente nominal, operacionalmente son iguales.

Datos técnicos:

Tipo	HVF 1152	HVF 1166
Un (kV)	7.2	7.2
Icc (kA)	31.5	40
In (A)	1250	2500
Vc (VCD)	110	110
Peso (Kg.)	110	145

### **2.1.2.4 Generadores.**

En el emplazamiento están instalados 24 moto-generadores HYUNDAI de 2,5MW de potencia cada uno.

Datos técnicos del generador.

Tipo..... Brushless and rotating UIT Damper Winding.

Potencia Nominal..... 2500kW.

Potencia Aparente..... 3125kVA.

Voltaje Nominal..... 6600V.

Corriente Nominal..... 273,5A.

Frecuencia..... 60Hz.  
Factor de Potencia..... 0,8.  
Velocidad Nominal..... 900rpm.  
Sobrevelocidad..... 1080rpm.  
Peso..... 11T.  
Sistema de enfriamiento por circulación de aire.  
Sistema de excitación.  
El generador cuenta con un sistema de excitación sin escobillas.  
Tipo..... Brushless and self- excited.  
Voltaje nominal. .... 65V.  
Corriente nominal..... 6A.  
Regulador Automático de voltaje tipo..... UNITROL 1000- 7.  
Rango de regulación de voltaje de  $\pm 10\%$ .  
Precisión de control.....  $\pm 0,5\%$ .

#### **2.1.2.5 Distribuidores Secundarios de 480VCA MCC.**

Para la alimentación de los equipos auxiliares de las baterías FUEL OIL está instalada una sección de 480V por cada cuatro generadores y una sección MCC para alimentar los equipos comunes del emplazamiento. Las secciones MCC propias se alimentan desde transformadores auxiliares de 6kV /480V y la sección común en condiciones normales está energizada desde una sección propia. En caso de emergencia se cuenta con un generador de emergencia (Arranque en negro) que entra a través de un Breakers situado en la parte posterior de la MCC común y desde aquí se enlaza con las MCC propias.

#### **2.1.2.6 Rectificador de CD y Baterías.**

Para la alimentación de los circuitos de protección, control, mando y señalización de los distintos esquemas de los generadores, por cada dos baterías de generadores cuentan con un esquema compuesto por dos rectificadores conectados en paralelo a un banco de baterías de CD de 56 celdas de 2V cada una, para una tensión nominal de 110V pues hay un vaso de reserva. Para estos fines se utiliza la energía proveniente de los rectificadores y las baterías porque significa una tensión confiable

que aunque se detenga la generación dinámica e incluso la de emergencia, la batería proveerá electricidad durante el tiempo suficiente para realizar distintas operaciones.

Datos técnicos del rectificador:

- Voltaje de entrada..... 480VCA.
- Voltaje de salida.....115VCD.

**2.1.2.7 Grupo electrógeno de emergencia (Arranque en Negro).**

El generador diesel de emergencia del emplazamiento está compuesto por un motor marca DOOSAN acoplado a un generador BOKUK de 145kVA y un panel de control que contiene un controlador digital para el control, medición y monitoreo del conjunto motor-generador basado en un microprocesador, cargador de baterías, relevadores auxiliares, además las conexiones con el interruptor de salida del generador hacia el MCC común.

Datos técnicos

- Marca del motor..... DOOSAN.
- Modelo..... D1146T.
- Velocidad..... 1800rpm.
- Tipo de combustible..... Gas Oil.
- Capacidad del tanque de combustible.....150L.
- Consumo de combustible..... 35,1 litros al 100% de la carga.
- Peso del motor..... 780Kg.
- Generador marca..... BOKUK.
- Modelo..... BDS- 115.
- Potencia Aparente..... 132kVA.
- Potencia Nominal..... 106kW.
- Vn..... 480VCA
- In..... 174A.
- Frecuencia..... 60HZ.
- Factor de Potencia..... 0,8.
- Conexión..... Estrella.
- Sistema de Excitación de..... 55V/5A.

### **2.1.2.8 Sistema de alumbrado.**

El sistema cuenta con dos paneles principales ubicados en la sala de los ETU 1 y 2 y paneles de distribución en cada local. El panel principal se alimenta desde un breakers de reserva del MCC común. La alimentación para el alumbrado principal del emplazamiento pasa a través de un magnético situado en el panel #2 de alumbrado, el cual se dispara al ocurrir una pérdida de la tensión al panel, quedando conectada solamente la sección de alumbrado de emergencia, que se puede energizar cuando se pone E/S el arranque en negro, de esta forma se evita que entre E/S todo el alumbrado y sobrecargue al generador.

## **2.2 Análisis del sistema de suministro eléctrico.**

Para realizar el análisis del sistema de suministro eléctrico del emplazamiento fue necesario realizar mediciones de las principales variables como; tensión(V), corriente(I), potencia activa(P), potencia reactiva(Q), potencia aparente(S), factor de potencia (fp) de los transformadores auxiliares de la instalación en un periodo de 15 días cada dos horas **anexos(5 al 19)**. En vista a que estas máquinas son idénticas se partió a analizar solo un grupo con un transformador alimentando 2 barras(MCC Propia Bat 3 y MCC Común) y otro solo la suya propia(MCC Bat.4) .Para las mediciones se utilizaron los instrumentos analógicos como voltímetro, amperímetro, watímetro **anexo(4)** , además de un metro digital (**Multi – instrument MIC, SW versión 7.2) ver anexo(3)**, y su alimentación proviene desde los TC y los TP que se encuentra situado en la parte trasera de los paneles por alta y por baja tensión correspondientes a los transformadores auxiliares.

### **2.2.1 Levantamiento de carga instalada.**

Para conocer la carga alimentada por los transformadores auxiliares de uso de planta de un grupo de dos baterías, se realizó un levantamiento de carga correspondiente a los consumidores de las barras MCC propia #3, (todas las barras MCC propia de todas las baterías tienen los mismos consumidores) y de la barra MCC común. De esta forma fue posible conocer la potencia activa instalada y la potencia activa real en cada barra (**ver tabla 2.1 y 2.2**).

<b>Barra MCC común 480</b>				
	<b>Consumidores</b>	<b>consumidores</b>	<b>P. instalada (kW) + reserva</b>	<b>P. instalada (kW) disponible.</b>
<b>AF1</b>	Alumbrado de fuerza.	1	30	30
<b>AF3</b>	Bomba A y B de descarga de HFO.	2	42	21
	Bomba A y B de traslado de HFO.	2	9,2	4,6
	Repuesto # 1.	1	8,6	0
<b>AF4</b>	Bomba A y B de descarga de diesel oil.	2	17,2	8,6
	Bomba A, B y C de transferencia de diesel oil.	3	38,1	12,7
<b>AR1</b>	Unidad de tratamiento de agua.	1	12	12
	Unidad de caldera.	1	50	50
	Grúa.	1	12	12
	Repuesto # 4	1	80	0
	Arranque en negro del generador de emergencia.	1	106	0
<b>AR2</b>	Bomba de trasiego al pozo.	1	2,2	0
	Bomba A y B de evacuación de lodo.	2	4,4	0
	Repuesto # 3.	1	21	0
	Bomba de agua contra incendio.	1	127	0
<b>AR3</b>	Bomba A y B de drenaje de tanque # 1A de FO	2	0,8	0,8
	Bomba A y B de drenaje de tanque # 2A de FO.	2	0,8	0,8
	Repuesto # 2.	1	0,4	0
<b>AR4</b>	Bomba A y B de recepción de Aceite Oil.	2	3,6	1,8
	Bomba A y B de transferencia de aceite.	2	1,8	0,9
	Bomba desecho aceite.	1	0,9	0
<b>Total</b>		<b>31</b>	<b>568</b>	<b>155,2</b>

**Tabla 2.1.** Consumidores MCC propia

<b>Barra MCC propia 480</b>				
	<b>Consumidores</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. instalada (kW) + Reserva</b>	<b>P. instalada. disponible (kW)</b>
<b>Panel de entrada</b>	Cargador de baterías.	1	12	12
<b>AF5</b>	Unidad de precalentamiento de agua.	1	41,5	41,5
	Panel de control local de radiador.	4	260	260
	Ventilador FAN.	4	120	120
	Compresor A y B.	2	35	35
	Enfriamiento de Toberas A y B.	2	3,8	1,9
	Purificadoras.	3	33	22
	Transformador OLTC.	1	0,75	
	Repuesto # 5.	1	0,75	0
	Repuesto # 3.	1	17,5	0
	Repuesto # 6.	1	33	0
	Repuesto # 7.	1	15	0
	Repuesto # 8.	1	7,5	0
<b>AF4</b>	Bombas de Prelubricación de aceite.	4	14,4	14,4
	Repuesto # 2.	1	3,6	0
<b>AF3</b>	Bomba A y B de suministro de HFO.	2	3,5	1,75
	Bomba A y B reforzadoras de FO.	2	7	1,75
	Repuesto # 1.	1	3,5	0
<b>AF1</b>	MCCB - M1 (CTR1 principal).	1	2	0
<b>Total</b>		<b>34</b>	<b>601,8</b>	<b>512,3</b>

Tabla 2.2: Consumidores MCC Común.

### 2.2.2 *Análisis de la Tensión y la Corriente*

- **Tensión**

Para analizar detalladamente este aspecto es necesario consultar las mediciones obtenidas durante el estudio del sistema de suministro eléctrico, y luego de haber calculado por la ecuación (2.1), se comprueba que la variación de tensión por el lado

de baja tensión de los transformadores tal y como se muestra en la Fig.2, se encuentra en un rango de  $\pm 1\%$  de la tensión nominal. De esta forma la NEMA y la IEC admiten variaciones entre un  $\pm 10\%$  y  $\pm 5\%$  de la tensión nominal en los terminales de los motores eléctrico y aparatos para su arranque y control respectivamente. En los terminales, de los restantes recetores de energía se admiten desviaciones de voltaje de  $\pm 5\%$  del nominal.

$$\text{Variación de tensión (\%)} = \left[ \frac{\text{Tensión Promedio Medida}}{\text{Tensión Nominal}} - 1 \right] \times 100 (\%) \quad (2.1)$$

TR3 = -1,40416667 % como promedio.

TR4 = -1,4583 % como promedio.

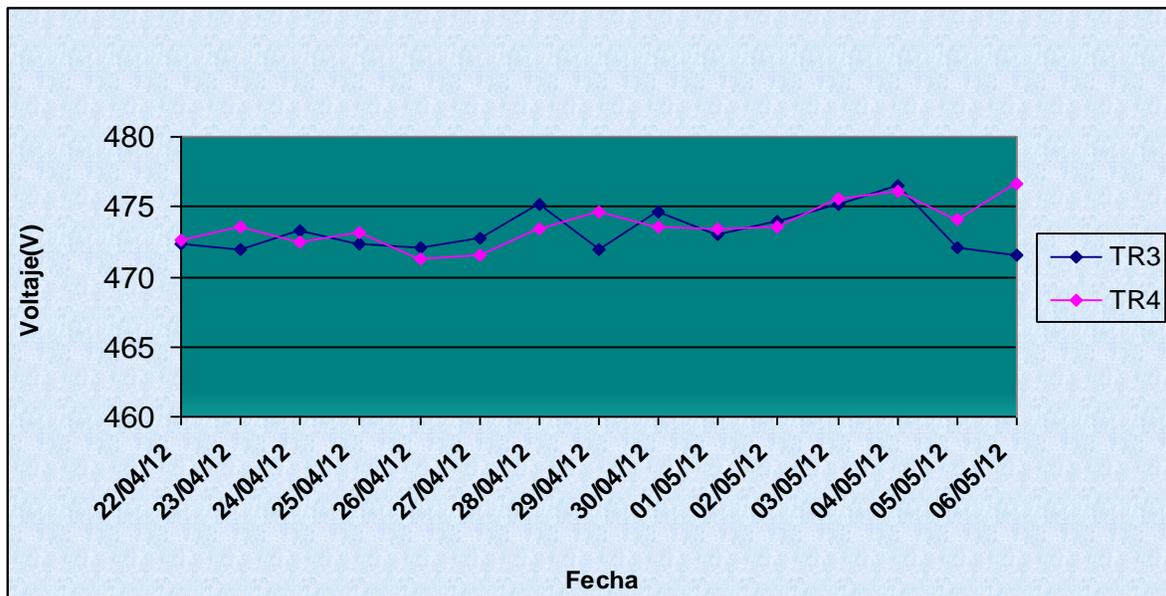


Figura 2.1: Comportamiento de la Tensión

- **Corriente**

Para un análisis de este importante parámetro se observaron los valores de la corriente registrados por los instrumentos por la parte baja de cada transformador, los cuales no sobrepasan los 550 A y 445 A en los transformadores 3 y 4 respectivamente tal y como se muestra en la figura 2.1, los mismos poseen un valor de corriente nominal de 902.11 A, lo que significa que estos transformadores no están siendo bien

aprovechados en relación a sus parámetros nominales. La diferencia que se observa entre los valores de los transformadores 3 y 4 es producto a que el transformador 3 esta alimentando la barra común además de la barra propia de la batería 3 por lo que hay mayor consumo de corriente en los bornes secundarios del mismo, efecto que sucede de forma contraria en el transformador 4 producto a que solo esta alimentando los consumidores de la barra propia correspondientes a la batería 4.

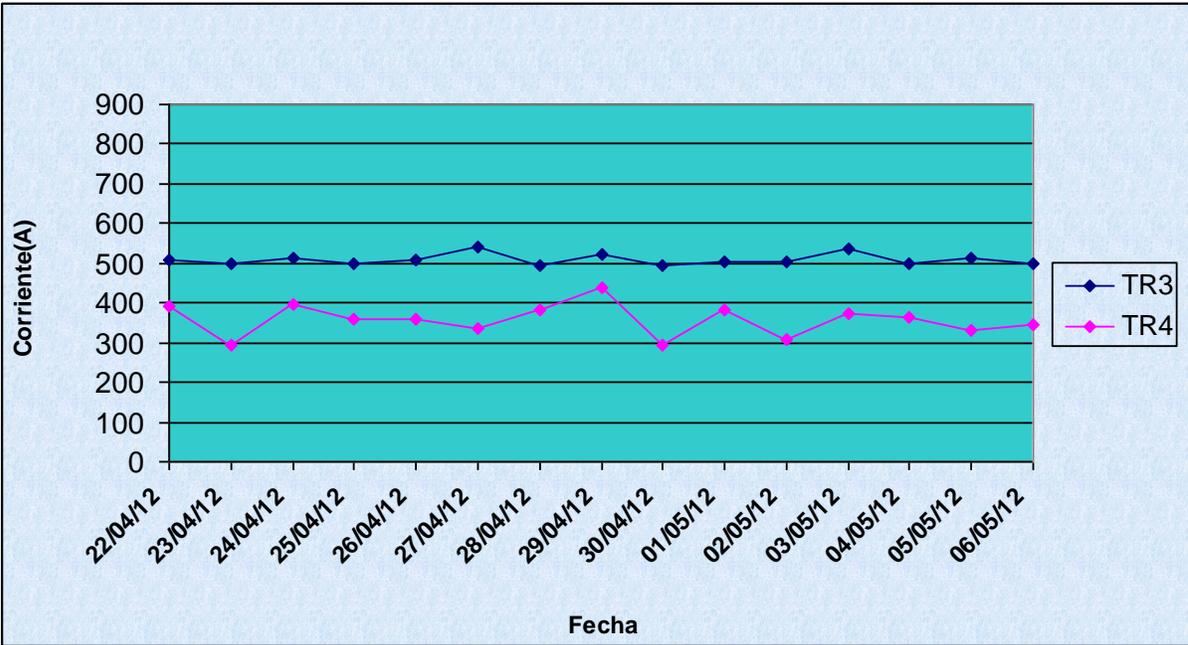


Figura 2.2: Comportamiento de la corriente

**2.2.3 Análisis del factor de potencia.**

Analizando las mediciones obtenidas durante el estudio de esta variable podemos decir que el factor de potencia en los transformadores 3 y 4 tiene un comportamiento poco variable en dependencia del régimen de trabajo de cada transformador. En la figura 2.2 se observa una notable diferencia entre los valores del transformador 3 y 4 que con un mayor número de consumidores ya que esta alimentando la MCC común, tiene una mayor demanda de potencia activa y aquí el valor del factor de potencia es mayor con respecto al del transformador 4. El factor de potencia en el transformador 3 y 4 máximo registrado por los instrumentos fue de 0.81 y 0.78

respectivamente, lo que nos dice que es esencial lograr un aumento de la carga en estas maquinas para obtener un mejor rendimiento.

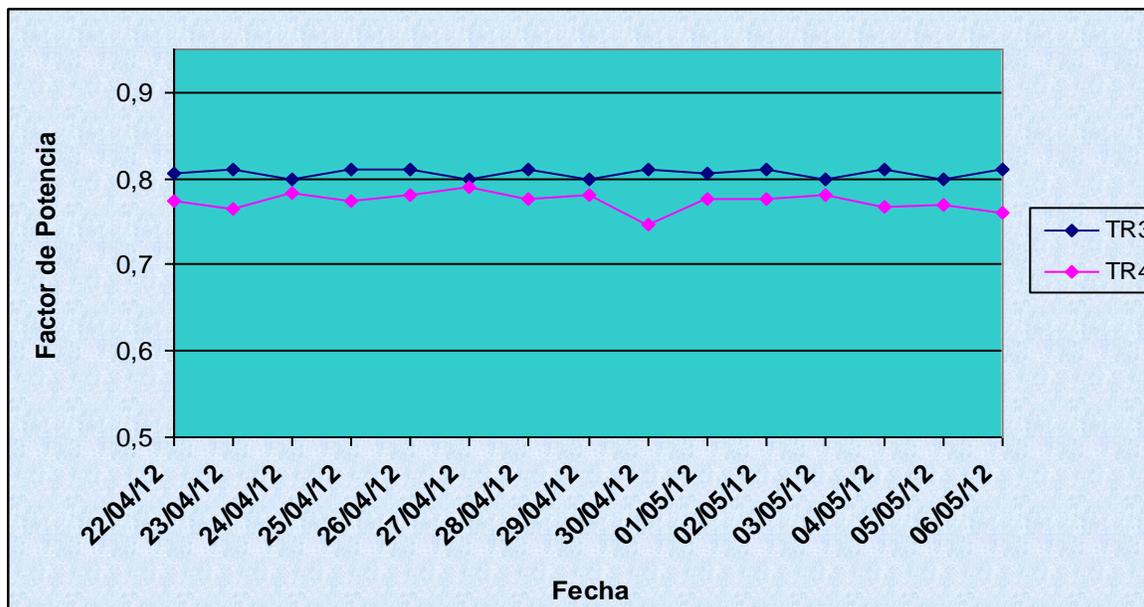


Figura 2.3: Comportamiento del factor de potencia

#### 2.2.4 Análisis de la potencia activa.

Al analizar la Fig. 2.3 se observa que la potencia activa en ambos transformadores varía considerablemente en dependencia del consumo diario cuando el emplazamiento entra en servicio. La diferencia que se observa entre los gráficos de carga de cada transformador es debido a que durante el estudio realizado, el transformador 3 se encontraba alimentando la barra común además de la suya propia, por lo que posee mayor número de consumidores y por consiguiente mayor demanda de potencia activa que se encuentra alrededor de unos 350kW, no siendo así en el caso de transformador 4, que solo alimenta los consumidores de la barra propia de la batería 4, donde el máximo valor de potencia activa alcanzado está cercano a los 290kW según el gráfico de la figura 2.3. El análisis de esta variable en relación con el conocimiento de la potencia activa demandada por la carga de cada batería, nos indica que es posible alimentar con un solo transformador las dos barras propias cuando el emplazamiento esté en servicio.

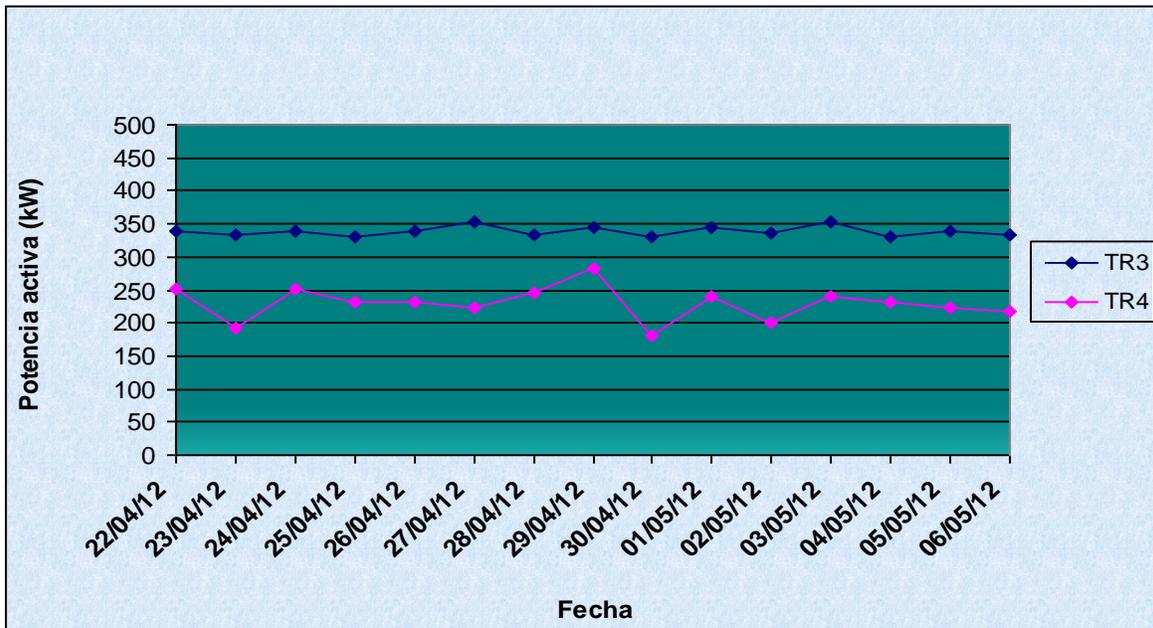
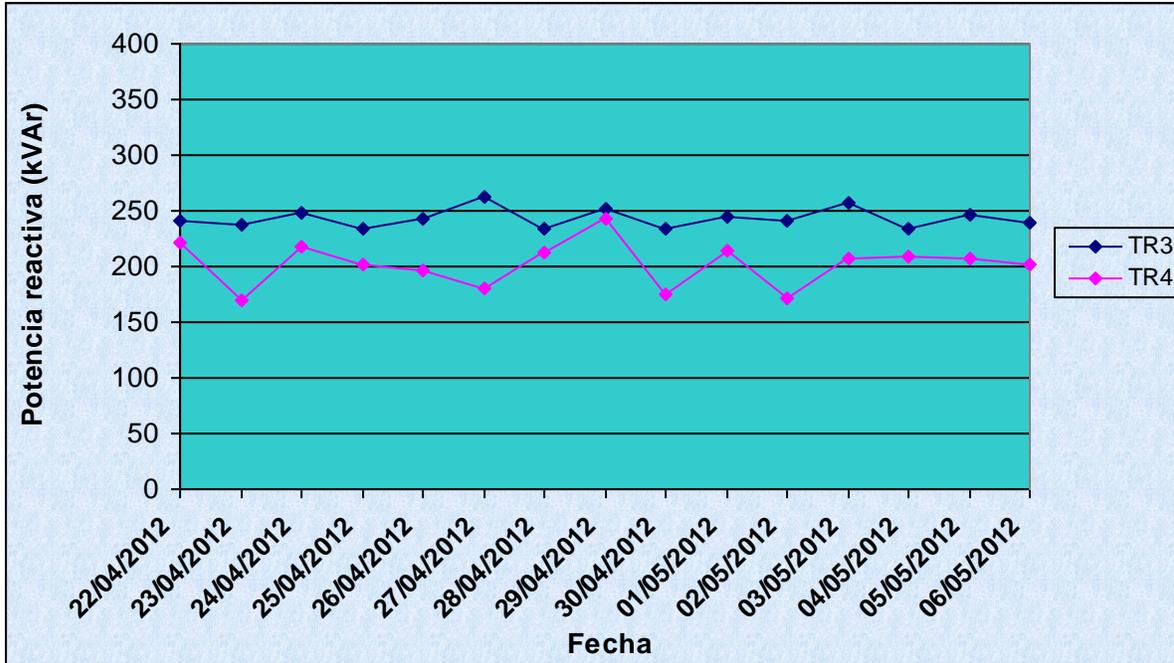


Figura 2.4: Gráfico de potencia activa en los transformadores TR3 y TR4 en horario de carga.

### 2.2.5 Análisis de la potencia reactiva.

Al observar los valores de la figura 2.4 podemos decir que el comportamiento de la potencia reactiva en ambos transformadores es bastante similar aún cuando uno supera un poco en carga al otro su comportamiento son muy similares porque ambos están operando en un régimen inferior al que fueron diseñados y por lo tanto ambos tienen pérdidas dadas por los valores de potencia reactiva la cual mantiene poca variación debido a la estabilidad de la carga en los diferentes estados, donde el máximo valor es de 270 kVAR en el transformador 3, al compararlo con el transformador 4 con un valor máximo de 248kVAR se muestra que no existe diferencia marcadas en este última máquina que trabaja a un 12% de carga por debajo de la máquina 3.



**Figura 2.5:** Gráfico de potencia reactiva en los transformadores TR3 y TR4 en horario de carga.

### 2.2.6 *Análisis de la potencia aparente.*

Para analizar el comportamiento de esta variable se hace necesario observar el gráfico de carga de los transformadores 3 y 4 tal y como se muestra en la figura 2.4, realizado con los valores que fueron tomados durante las mediciones. De esta forma se puede apreciar que es notable la diferencia de potencia entre los transformadores 3 y 4 ya que el transformador 3 está alimentando la barra propia pero además la barra común (MCC común) que posee un valor pico de potencia aparente de 450 kVA, lo que representa un 60% de su potencia nominal. En el transformador 4, que solo alimenta la barra propia de la batería 4, donde el mayor valor de potencia aparente se encuentra a unos 360 kVA como carga pico, representando el 48 % de su capacidad nominal, donde se deduce que estos transformadores se encuentran subcargado la mayor parte de tiempo dando posibilidad para poder alimentar otra carga con semejante potencia, y de esta manera aprovechar mas su capacidad nominal y aumentar así la confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico al dejar uno de los transformadores en reserva.

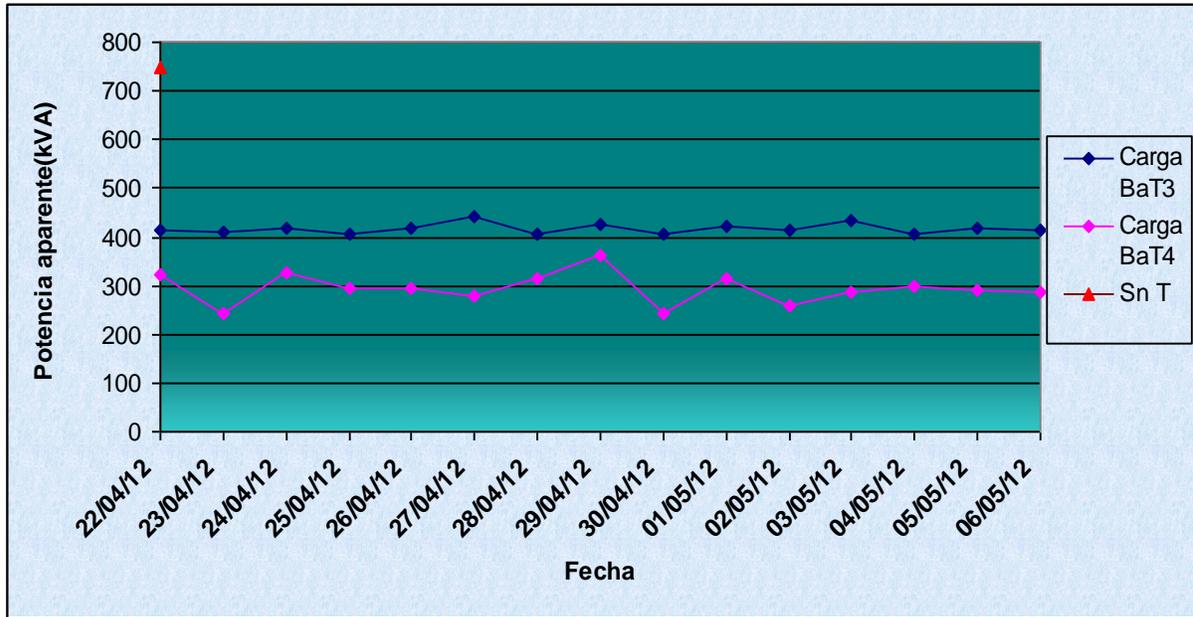


Figura 2.6: Gráfico de potencia aparente de los transformadores TR3 y TR4 en horario de carga.

### 2.3 Resumen de los resultados obtenidos

Como resumen se puede asegurar que durante el tiempo de estudio realizado se detectó que el emplazamiento está prácticamente 4 a 5 horas diarias generando, principalmente en los horarios picos, donde se observó que los parámetros estudiados (tensión, corriente, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente) son muy estables. Como promedio los transformadores auxiliares, poseen un régimen de trabajo inferior al 50% de su capacidad nominal, esto infiere un mal aprovechamiento de estas máquinas y su posterior deterioro sino se actúa sobre el problema, esta solución puede estar determinada por un enlace entre las cargas y poner fuera de servicio el otro transformador de ese grupo, pero para ello estos deben de estar interconectados, que en régimen de trabajo me garantizaría la producción al ser ya un sistema confiable, se disminuirían las pérdidas al quedar uno de reserva y mejoraría la vida útil de estas máquinas. Esto aseguraría, una producción de electricidad confiable, una extensión de la vida útil de estas máquinas más el ahorro por la disminución de pérdidas en cada transformador que podrían al año ser numerosas.

## **2.4 Conclusiones parciales.**

Al realizarse el estudio y análisis de las principales variables que actúan en el sistema de suministro eléctrico se detectó que:

- Al analizar los valores de los parámetros tomados durante las mediciones realizadas se puede definir que los transformadores de uso de planta del emplazamiento Fuel – Oil se encuentran la mayor parte del tiempo en vacío a esto se debe su bajo factor de potencia, lo que indica un aumento de la potencia reactiva, con ello se incrementan las pérdidas en los transformadores al aumentar la inducción de armónicos.
- La tensión se analizó en cuanto a su variación y comportamiento en los transformadores auxiliares y cumplió con lo establecido por norma; ser menores de 5% lo que infiere un excelente resultado en cuanto a este aspecto.
- La corriente en los transformadores varía en dependencia del consumo de potencia en cada batería, lo que determina el valor de las potencias (P, Q, S). Además se supo con seguridad que estas máquinas no trabajan a plena carga lo que hace que tenga mayores pérdidas y un nivel más bajo en su eficiencia.
- Una de las vías más factible para mejorar la confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico del emplazamiento Fuel –Oil es realizar un enlace entre las barras propias (MCC) de cada batería.

## **CAPÍTULO III: PROPUESTA DE MODIFICACION EN EL SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO.**

---

A partir de los resultados del análisis del sistema de suministro eléctrico, relacionados en el capítulo anterior, se propone el enlace entre las barras MCC propias de cada batería en el grupo Fuel – Oil. Para lograr este objetivo se tuvo en cuenta las características del sistema de suministro eléctrico así como también el estado de carga de los transformadores auxiliares bajo condiciones de operación. Finalmente se realiza una valoración económica correspondiente a la propuesta, tomando como referencia la reducción de pérdidas en estas máquinas y a su vez el ahorro de energía eléctrica por concepto de confiabilidad.

### **3.1 Factores a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de suministro eléctrico.**

Al diseñar un sistema de suministro de electricidad se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos relacionados con su confiabilidad:

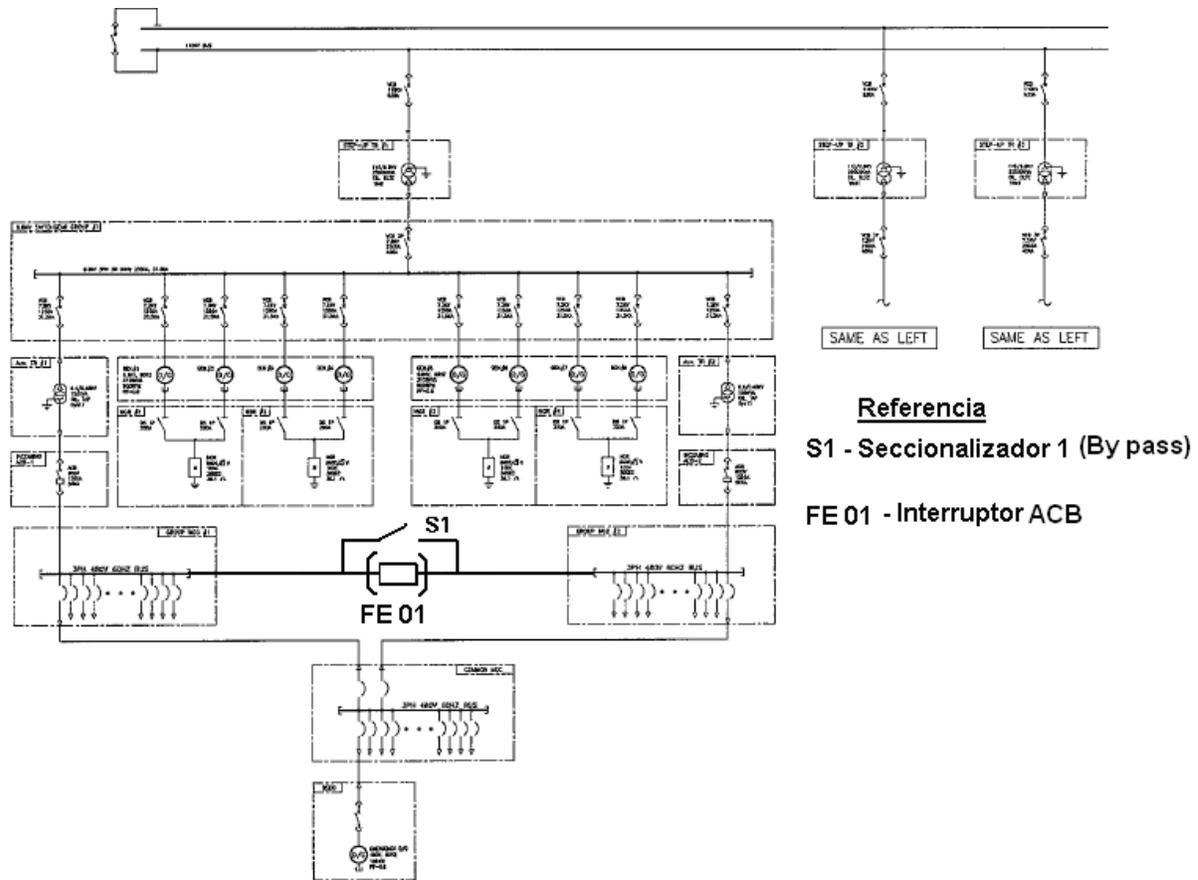
- Elevada confiabilidad de cada elemento del sistema. La confiabilidad del sistema está vinculada con la confiabilidad de cada elemento del sistema.
- Resiliencia. En lo posible, la falla de un elemento no debiera dejar todo el sistema sin funcionar.
- Mantenibilidad. Una adecuada mantención de los sistemas eléctricos al menos mantiene su confiabilidad en los valores de diseño de la instalación. Por el contrario una mantención no realizada o realizada en mala forma disminuye la confiabilidad del sistema.
- Capacidad del sistema. El sistema debe estar diseñado para los consumos que abastecerá con una capacidad de sobrecarga transitoria.
- Flexibilidad. El sistema debe ser flexible y prever que existirán aumentos del consumo, o un cambio en la ubicación de éstos, o que existirán cambios tecnológicos que requerirán de un sistema distinto del que fue proyectado inicialmente. En este escenario las modificaciones del sistema deben ser relativamente fáciles de realizar, sin que el sistema pierda confiabilidad.

Para diseñar un sistema confiable teniendo en cuenta todos los requerimientos antes expuestos se debe:

1. Diseñar un sistema donde se enlacen en cada grupo las dos barras propias de los transformadores.
2. El grupo por donde una de las máquinas este alimentando la dos barras; la suya y la MCC Común no se deberá conectar en ese tiempo un solo transformador, si es una necesidad se hará un acomodo de carga y deberán seguir los siguientes pasos.
  - a) No se descargará combustible hasta tanto no se restablezca el sistema, para evitar las dos bombas de descarga conectadas en ese período
  - b) Se tomará la alimentación de agua desmineralizada de los bloques de la CTE para evitar poner en servicio la planta de tratamiento químico de agua (TQA).
  - c) Se pondrán en servicio solo dos calderas para garantizar solo el vapor necesario en la central y las bombas de alimentación al domo trabajen a baja carga.
  - d) No se trasegará lodo al tanque de recepción del mismo.

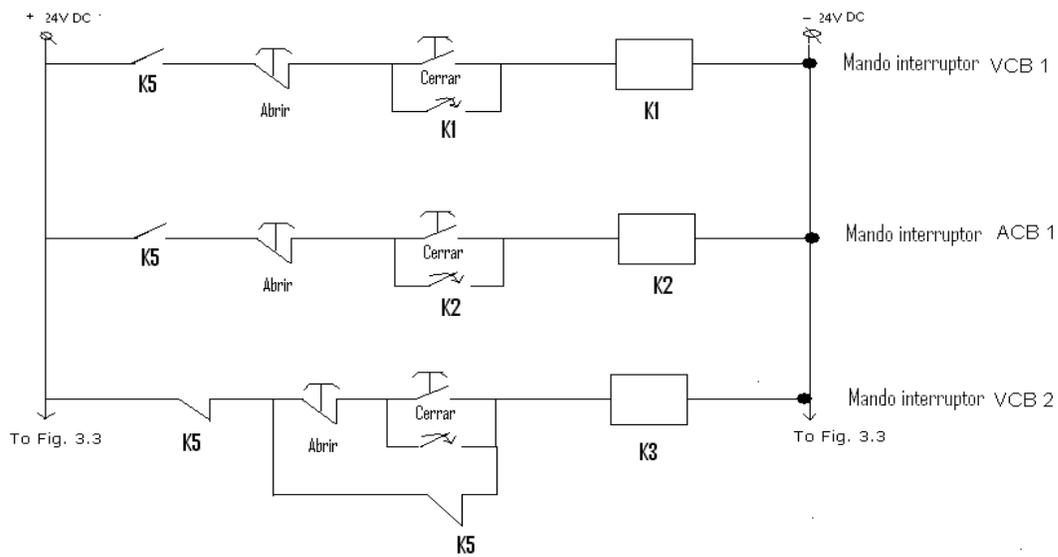
### **3.2. *Propuesta de modificación en sistema de suministro eléctrico.***

Es necesario recordar que los transformadores en cuestión poseen las mismas características constructivas y las mismas especificaciones técnicas como describió en el capítulo 2, además de igual relación de transformación entre otras condiciones que nos demuestran que se pueden conectar en paralelo aunque solo se mantenga uno trabajando permanentemente debido a que es más viable mantener uno cargado a un 80% y que dos conectados a un 40 %.

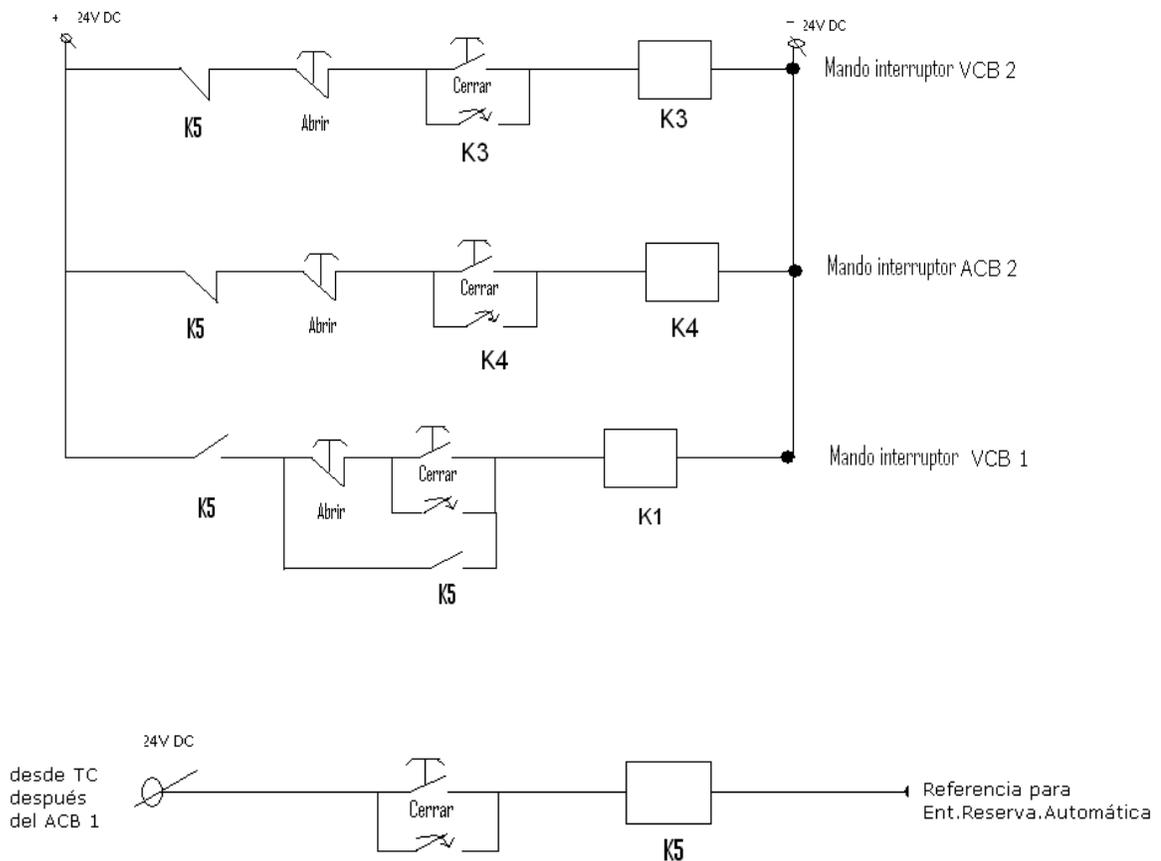


**Fig.3.1** Esquema monolineal del sistema de suministro eléctrico con el enlace propuesto.

En el la figura 3.1 se muestra el esquema del sistema de suministro eléctrico del emplazamiento fuel – oil con la propuesta de modificación, el enlace entre barras mediante el interruptor FE 01 garantiza que si uno de los interruptores por el lado de baja de los transformadores falla, este actúa como una protección de respaldo ante el interruptor del transformador que se encuentra en servicio, S1 es un seccionalizador (By pass) para independizar el interruptor, ya que en caso de que se necesite sacar el interruptor para dar mantenimiento u otro problema existente en este se cerrará el seccionalizador S1y continua brindando el servicio. Para garantizar la ininterruptiones se confecciona un esquema automático para la entrada del transformador de reserva (Fig. 3.2 y 3.3).



**Figura: 3.2** Esquema de mando del transformador 1 para ERA.



**Figura: 3.3** Esquema de mando del transformador 2 para ERA.

En la Fig. 3.2 y 3.3 se muestra el esquema de mando para los interruptores de los transformadores, el objetivo e la entrada de la reserva automática (ERA), es decir cuando ocurra una falla en el sistema entonces entraría el transformador que estaba de reserva, para ello se diseño el anterior circuito donde:

K5 \_ Relé principal, toma alimentación del transformador de corriente (TC) por baja del transformador 1, tiene dos contactos uno NA (Fig. 3.2) y otro NC (Fig. 3.3).

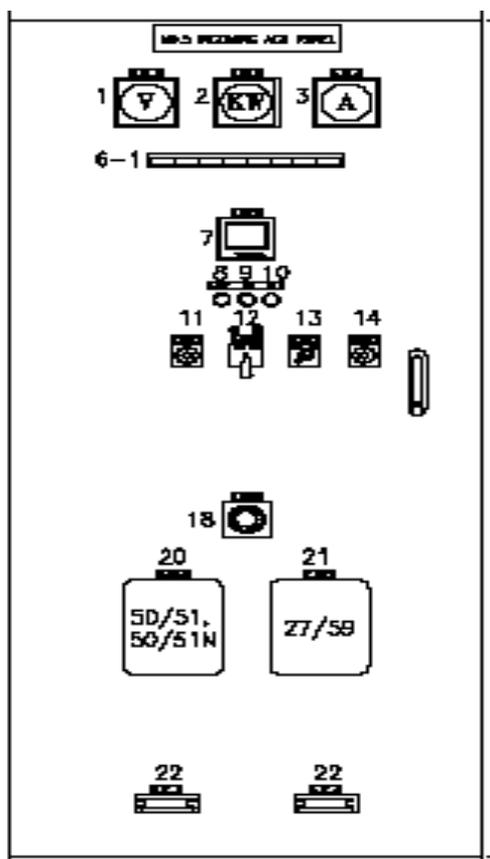
K1\_Relé auxiliar del interruptor por alta del transformador 1

K2\_Relé auxiliar del interruptor por baja del transformador 1

K3\_Relé auxiliar del interruptor por alta del transformador 2

K4\_Relé auxiliar del interruptor por baja del transformador 2

### 3.2.1 Panel del interruptor propuesto



#### **Puerta del panel:**

- 1 – VM- Voltímetro.
- 2 – KWM- Kilowattímetro.
- 3 – AM- Amperímetro.
- 6-1 – FI- Ventanillas de señalización.
- 7 – METER- Metrocontador digital.
- 8 – BS- Botón amarillo: Reseteo de señal sonora.
- 9 – RE- Botón Verde: Reseteo de protecciones.
- 10 – LT- Botón Rojo: Prueba de luces.
- 11 – VS- Llave para fasear el voltímetro.
- 12 – CS- Llave para apertura y cierre del interruptor.
- 13 – SS- Llave para mando local o remoto.
- 14 – AS- Llave para fasear el Amperímetro.
- 18 – BZ- Bocina.
- 20 – OCGR- Relé de las protecciones de sobrecorriente.
- 21 – OUVR- Relé de la protección de alto y bajo

Fig. 3.3 Panel ACB de Enlace.

### **3.2.2 Descripción del interruptor.**

El interruptor seleccionado **HiAN 12** (ver anexo 22) es de fabricación coreana es de sistema de extinción al aire por celdas ahoga arco, para operación bajo techo. Este está incluido dentro del panel propuesto, figura 3.3.

#### Datos técnicos:

- Tipo..... HiAN 12.
- Vn..... 600/690V.
- Vm..... 1000V.
- In..... 1250A.
- Icc..... 50kA.

### **3.3 Ahorro de energía y valoración económica.**

En los momentos actuales, el ahorro de energía eléctrica no es solo una campaña, es una necesidad y una cultura que debe formar parte de todos para disminuir el consumo de combustible debido a que su costo se mantiene en proceso de aumento constantemente. La producción de energía eléctrica constituye el 50% del consumo de petróleo en el país. Ahorrar un kW en generación es 215g de Fuel - Oil y 15 g de Diesel que ahorra el grupo Fuel en su producción de energía o un kW más que se entrega al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Actualmente una tonelada de petróleo mediano HFO tiene un valor de 658.11 MN, a la empresa, al país le cuesta 583.48 CUC por lo que hace más importante el impacto económico en la disminución del insumo en los grupos Fuel - Oil. En las instalaciones de generación de electricidad se precisan que los mayores consumidores de energía eléctrica lo representan los accionamientos eléctricos de las bombas y los ventiladores que a su vez son alimentados por transformadores.

Para mejorar la eficiencia de estas máquinas y con ello el proceso tecnológico de la instalación es necesario establecer un enlace entre las barras propias de cada batería, para de esta forma darle una mejor utilización a los transformadores y lograr el mínimo de pérdidas de energía eléctrica en dicho sistema.

En general la modificación del esquema de suministro eléctrico mejora la eficiencia de los transformadores auxiliares permitiendo un número menor de pérdidas de energía eléctrica, además de más confiable el sistema.

**Ahorro de Energía**

Los transformadores de uso de planta del emplazamiento, los cuales son 6, se encuentran trabajando la mayor parte del tiempo en vacío, ocasionando pérdidas de energía eléctrica al sistema, las cuales pueden llegar a ser numerosas en un período de tiempo determinado.

$$\text{Ahorro energético anual} = (\text{h/día}) * X (\text{kW.}) * 365\text{día/año} \tag{3.1}$$

$$\text{Promedio de (h/día) trabajadas} = 24$$

Para generar un kW se utiliza 215 g de combustible fuel.

Ahora según la ecuación 1.3 se calculan las pérdidas de los transformadores con el siguiente resultado:

Transformador	Pérdidas totales en kW
TR3	12,34
TR4	7,68

Tomando el valor del TR4 como energía ahorrada en el sistema y sustituyendo en 3.1 se tiene que:

$$\text{Ahorro energético anual} = 24(\text{h/día}) * 7.68(\text{kW.}) * 365\text{día/año.}$$

$$\text{Ahorro energético anual} = \mathbf{67276.8 \text{ kW/año.}}$$

$$\text{Ahorro energético diario} = \text{Ahorro energético anual} / 24$$

Ahorro energético diario = **184.04 kW/día.**

***Para generar un kW se necesita 215 g de Fuel (HFO) y 15 g de Diesel (DO)***

Ahorro de combustible diario HFO = Ahorro energético diario\*consumo comb. (3.2)

Ahorro de combustible diario HFO = **37.91 litros de HFO**

Ahorro de combustible diario DO = **3.21 litros de DO**

Ahorro de combustible anual HFO = **13837.88 litros = 14.44 toneladas de HFO**

Ahorro de combustible anual DO = **1174.10 litros = 1.007 toneladas de DO**

100 litros de HFO significa \$ 68.694 MN a la empresa.

Una tonelada tiene = 1000000 g = 958.1 litros de HFO

1 litro de HFO = 1043.73 g de Fuel

1 litro de DO = 858.2 g de DO

**Costo del HFO = \$ 0.6869 MN el litro.**

Ahorro en pesos/año HFO = Ahorro litros de petróleo/día\*costo del HFO\*365días  
(3.3)

Ahorro en pesos/año HFO = 37.91 Lts/día\*0.6869 MN \*365días = \$ **9504.738 MN**

**Costo del DO = \$ 0.7827 MN el litro.**

Calculando por 3.3 el ahorro de pesos por ahorro de diesel.

Ahorro en pesos/año DO = 3.21Lts/día\* \$ 0.7827MN\* 365días

Ahorro en pesos/año DO = \$ **917.05 MN**

**Ahorro del proyecto = Ahorro en pesos/año HFO + Ahorro en pesos/año DO**

Ahorro del proyecto = \$ **10421.788 MN**

Esto es analizándolo por lo que representa en la empresa en MN, para el país el costo de un kW de un emplazamiento fuel es de 0.18 CUC, si con el proyecto se ahorra sobre los **67276.8 kW/año.**, se puede decir que el país se ahorra **12109.824 CUC/ año** con la implementación de esta propuesta.

### **Valoración económica**

El análisis económico es la demostración final y decisiva a la hora de diseñar o modificar cualquier sistema industrial debido al costo de las inversiones. Entre los métodos que existen para comparar alternativas de inversión están:

- Método del valor actual neto (VAN)
- Método del valor del futuro
- Método del periodo de reembolso
- Método de la tasa interna de retorno (TIR)

Para este análisis se escogió el método del VAN y la TIR, a continuación definiremos todos los conceptos para la mejor comprensión de la valoración económica.

El VAN es un método práctico, los gastos o entradas futuras se transforman en unidades monetarias del tipo equivalentes actual, este método es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos, de esta forma es fácil observar la ventaja económica de la alternativas sobre otra.

El VAN se define como el valor actualizado del flujo de ingresos netos (in) generados durante la vida útil del proyecto, es decir del saldo entre los ingresos y los gastos anuales que impliquen derogaciones de efectivos

Para la utilización del VAN es necesario una tasa de actualización(a). Esta tasa debe reflejar el costo de oportunidad de capital que expresa la garantía del rendimiento mínimo. En otras palabras una tasa similar a la que se obtendrían con cualquier otra alternativa de inversión. Para el cálculo de esta tasa generalmente se utiliza la tasa de interés existente sobre préstamos a largo plazo en el mercado de capitales

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula mediante la determinación en cada año de todos los ingresos en efectivo y de salidas anuales como ingresos, desde que se incurre en el primer gasto en el proceso inversionista, hasta que se concluye la vida útil estimada de operación o funcionamiento del proyecto. Estos saldos anuales

positivos y negativos, se actualizan en los momentos del primer gasto, de la forma siguiente:

$$VAN = \sum inj_j * A_j \quad (3.4)$$

Donde: ( $inj_j$ ) es el saldo entre los ingresos y el gasto en los años.

( $A_j$ ) es el factor de actualización de los años.

El factor de actualización se puede obtener de las tablas de actualización o de las siguientes formas:

$$A_j = \frac{1}{(1+i)^j} \quad (3.5)$$

Donde:  $i$  es tasa de actualización (para nuestro trabajo es de 5%)

$j$ : 1, 2, 3 cada año del proyecto que se genera en ingresos en efectivo.

A los efectos de selección del proyecto el criterio será siempre mayor o igual a cero para que el proyecto sea rentable.

La tasa interna de retorno TIR es aquella que el valor anual neto de un proyecto es cero, es decir que el valor actual neto del flujo de ingresos es igual al valor neto del flujo de egresos.

La TIR se calcula en esencia igual que el VAN, la única diferencia es que se estiman tasas de actualización a que el VAN es igual a cero en un proceso de actualizaciones sucesivas.

El procedimiento general consiste en utilizar aquellas tasas de actualización que aproximen lo más posible el VAN a cero, hasta llegar a que este sea negativo. La TIR se encontrará entre dos tasas, por supuesto que mientras mayor sea la aproximación a cero mayor será la exactitud obtenida no debiendo la diferencia intertasas de (+-) 2%. Si se quiere una buena aproximación, el valor de la tasa interna de retorno se puede hallar mediante la interpolación entre ambas tasas o por la fórmula siguiente:

$$TIR = I_1 + VAN_p(I_2 - I_1) / VAN_p + VAN_n \quad (3.6)$$

Donde:

$I_1$ : es la tasa de actualización del VAN que es positivo.

$VAN_p$ : Es el VAN positivo a la tasa de actualización de  $I_1$

$I_2$ : es la tasa de actualización en que el VAN es negativo.

$VAN_n$ : es el VAN negativo a la tasa de actualización  $I_2$ .

La TIR representa la rentabilidad general del proyecto, el criterio de selección es que la TIR debe ser mayor o igual a aquella tasa que garantice un rendimiento mínimo para la inversión realizada, o sea mayor que el 12%.

### **Inversión**

**Panel con interruptor y accesorios = \$10419.2 MN**

**Cableado = \$1233.75 MN**

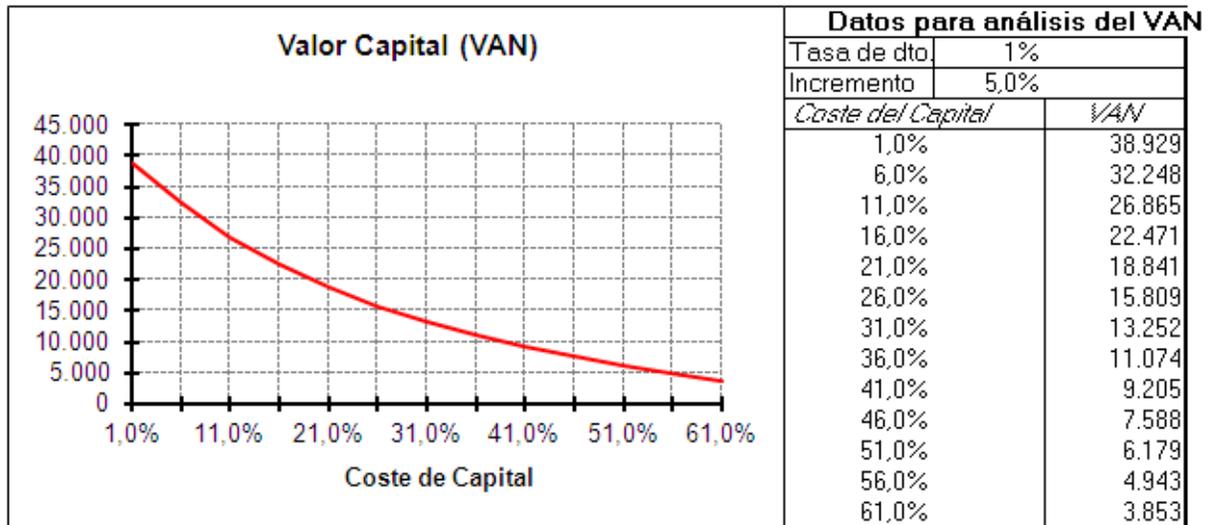
**Inversión = \$ 11652.77 MN**

**Ahorro en MN = \$ 10421.788 MN/año**

Tasa de descuem 5%

AÑO	GASTOS	INGRESOS	RESULTADO	VAN
0	11.653		-11.653	-11.653
1	0	10.422	10.422	9.926
2	0	10.422	10.422	9.453
3	0	10.422	10.422	9.003
4	0	10.422	10.422	8.574
5	0	10.422	10.422	8.166
				<b>VAN = 33.468</b>

Resumen de la inversión 1	
Pto. contable	4,4718071
Pto. contable medio	0,8943614
Plazo de recuperación	1,12
VAN	<b>33.468</b>
TIR	<b>85,35%</b>



**Figura 3.4:** Análisis financiero para la propuesta de modificación del sistema de suministro eléctrico del emplazamiento Fuel – Oil de Felton.

Aquí se obtiene una amortización de menos de un año y medio, es importante destacar que en este trabajo solo se han tomado en cuenta las ganancias por ahorro de electricidad por pérdidas en los transformadores y no se incluyó el ahorro por lo que representa solo una interrupción en el sistema eléctrico del país, decir solo que en lo que va de año hasta el mes de mayo hubieron 3 interrupciones en estos transformadores 2 de ellas por más de 10 horas, han sido más de 500 MW/h que se dejaron de generar por no existir un transformador que se hiciera cargo de toda la carga necesaria para generar esos MW lo que justifica elegantemente el enlace entre barras de estos transformadores, haciendo el proyecto mucho más factible y realizable económicamente.

### **3.4 Impacto Ambiental.**

La Industria Eléctrica comprende de forma fundamental el conjunto de instalaciones que se utilizan para transformar otros tipos de energía en electricidad y transportarla hasta los lugares donde se consume. Estas instalaciones pueden agruparse de forma simplificada en dos operaciones básicas: *Generación de la energía eléctrica* y *Transmisión y distribución de la electricidad*. Cada una de estas operaciones involucra una serie de actividades especializadas y complejas que por sus características específicas son generadoras de impactos ambientales.

De forma simplificada, las principales actividades relacionadas con la generación de electricidad, en fase operacional, causantes de impactos ambientales, son las vinculadas con la utilización de materias primas para el proceso y la generación de residuales sólidos y líquidos y de emisiones gaseosas. Este último es de mucha importancia debido a la expulsión de sustancias a la atmósfera que pueden provocar daños catastróficos al ecosistema.

La operación de los grupos Fuel – Oil producen emisiones de gases contaminantes procedentes de la combustión. Estas emisiones constituyen el principal problema ambiental de las centrales eléctricas que queman combustible fósil y la composición específica de las mismas depende del tipo de combustible que se quema y de las características tecnológicas de la instalación. Las emisiones de gases a la atmósfera constituye un impacto directo sobre la calidad del aire que es el que recibe dichas emisiones y un impacto indirecto sobre el agua, el suelo, la vegetación y la fauna debido al retorno de parte de estos contaminantes a la tierra, por deposición seca o húmeda.

La confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico, es un requisito básico para la política de ahorro de energía, esto está determinado por la disminución de combustible en la combustión, contribuyendo así a la consecuente mejora del medio ambiente por menor desprendimiento de gases tóxicos como el CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y Material Particulado (MP). Basta decir que por cada kW-h de energía eléctrica consumida por un equipo se descarga a la atmósfera 0.94 kg de CO<sub>2</sub>.

El estado de la técnica no ha permitido aún encontrar soluciones suficientemente satisfactorias que aseguren un desarrollo sostenible y minimicen las consecuencias indirectas de este consumo de energía: el efecto invernadero, el agujero de la capa de ozono, la lluvia ácida, los residuos radiactivos, etc. Actualmente la forma más eficaz e inmediata es el ahorro de energía.

Parecer general es que el dióxido de carbono contribuye aproximadamente en un 50 % al problema del calentamiento global y el metano del 10 % al 20 %. Los beneficios de dicho programa son ambientales y económicos. Aún con reducidos niveles de costo del combustible, la cantidad gastada en consumo de energía es extremadamente elevada y los ahorros potenciales pueden justificar muchos proyectos. La contaminación del aire: está dado por emisiones de gases a la atmósfera que se producen como resultado de la utilización de productos químicos en su proceso de generación de energía.

Estas afectaciones producen efectos indirectos y negativos como incremento de la presión sanguínea, aceleración del ritmo sanguíneo, la contracción de los capilares de la piel y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental del hombre, expuestos también a enfermedades respiratorias y de la piel.

### **3.5 Valoración social**

En medio de una revolución energética, cada medida que se tome con el objetivo del ahorro tiene necesariamente un impacto social. De modo general cada uno de nosotros centra su atención en la disminución de los portadores energéticos principales y que representan un alto valor económico repercutiendo debido a su inversión en el desarrollo del país. Es decir que cada centavo que se ahorre por medio de generación de electricidad es menor inversión de combustible, mayor servicio de energía eléctrica para el pueblo y mayores ingresos monetarios para la compra de otros recursos y materiales como medicinas, alimentación, recuperación de las instalaciones sociales, etc. Este trabajo no esta exento de estas características, además que la introducción de estos resultados permite humanizar la labor de los trabajadores que están expuestos a las emisiones gaseosas de **CO<sub>2</sub>**, letales para la vida en altas concentraciones. Al mismo tiempo esto mejorara el

entorno de trabajo, disminuyendo las emisiones gaseosas hacia los barrios residenciales de la comunidad, impidiendo en gran parte la aparición de problemas respiratorios en la población.

### **3.6 Conclusiones parciales.**

En este capítulo se toma en cuenta los resultados obtenidos del estudio realizado en el capítulo 2 por lo que se concluye que:

- Una modificación en el sistema de suministro eléctrico enlazando las barras de los consumidores auxiliares entre dos baterías, es la vía más factible para lograr confiabilidad en el sistema de suministro eléctrico del grupo fuel de Felton.
- El análisis económico muestra un ahorro de energía eléctrica de 7.68 kW como promedio por cada grupo y una amortización de menos de un año y medio haciendo la inversión rentable para las condiciones existentes.

## *CONCLUSIONES GENERALES*

Después de haber realizado un estudio y analizado profundamente el comportamiento del sistema de suministro eléctrico de emplazamiento Fuel – Oil se concluye que:

1. Para las condiciones actuales en operación, los transformadores auxiliares están trabajando a un 40% de su capacidad nominal; lo que da la posibilidad de conectar otra carga de igual magnitud sin que se sobrecarguen.
2. Los transformadores estudiados son idénticos por lo cual es factible su conexión en paralelo.
3. La propuesta de modificación en el sistema de suministro eléctrico de enlace entre la carga de los transformadores de dos baterías, dejando un transformador en reserva, garantiza que el sistema sea más confiable.
4. Los cálculos económicos respaldan la puesta en marcha de la modificación con una amortización un año y medio y ganancias a partir de la fecha indicada de \$ 10421.788 MN/año por año, lo que equivale 14.44 toneladas de Fuel y 1.007 toneladas de DO toneladas de petróleo.

## *RECOMENDACIONES*

1. Continuar estudiando sistemáticamente, del sistema de suministro eléctrico de esta instalación industrial, así como el comportamiento de los parámetros que intervienen en el proceso para la generación de energía.
2. Proponer el enlace de los transformadores principales mediante las barras de 6.6 kV para la de esta forma contribuir con el ahorro energético.

# Bibliografía

1. Aróstegui, J. M. y otros.: Metodología del Conocimiento Científico. La Habana: Editorial de Ciencias Sociales, 1978. 445 p
2. Feodorov, A.A; Rodríguez L, E. Suministro eléctrico de empresas industriales. Editorial Pueblo y Educación.1980.
3. Trabajo presentado en el XIX Forum Científico Nacional de Estudiantes Universitarios de Ciencias Técnicas. Tutorado por el ingeniero Edgar Gutiérrez Mora.
4. Gómez, JM. Análisis de la confiabilidad del suministro eléctrico de la planta de Calcinación y Sinter. Trabajo de Diploma. 1999.
5. Hernández, Ramírez, G. Eficiencia en los sistemas de suministro eléctricos industriales de baja tensión. Tesis maestría. ISMM. 2000.
6. Cruz, Blanco, Y. Descripción técnica del emplazamiento Fuel – Oil de Felton.2011.
7. De Armas, Pérez, L. Análisis del Sistema Eléctrico de baja tensión de la planta de Calcinación y Sinter de la empresa Ernesto Che Guevara. Trabajo de diploma. 2010.
8. VIEGO, P. F; ARMAS, M. A de. *Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales*. Cienfuegos: Centro de estudios de la Energía y el Medio Ambiente de la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, [s.a].
9. Delgado, Bordonado, F. Estudio del sistema eléctrico de la Empresa Puerto Moa Comandante Raúl Díaz Arguelles. Trabajo de diploma.2010.
10. Linares, Suárez, H. Análisis del sistema de suministro eléctrico de la subestación 2SD de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Trabajo de diploma 2011.
11. Obras Públicas, 1992. RAS, E. Transformadores de potencia, de medida y de protección (5ª edición). Barcelona, Marcombo, 1983.
12. Creus, Sole. A. “Fiabilidad y Seguridad de procesos industriales”. Marcombo, España, 1991.
13. Eguíluz L, I; Lavandero J, C; Mañana, M; Sánchez, P. Eficiencia energética y calidad del suministro eléctrico. 1998.

14. Lazarev, S, S. Fiabilidad en sistemas eléctricos. Editorial Instituto Energético de Moscú. 1989.
15. Ma Piti, F.; Otero Sierra, C.: Mejoramiento de la confiabilidad del suministro eléctrico de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. ISMM. 1997.
16. Mazorra, Soto, J. Metodología para la minimización técnico económica de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales. Revista Energía. No 1, 1986.
17. Ribero Barburo, A. Pérdidas de energía en los transformadores de potencia. Boletín Informático CEC. Julio – Septiembre, 1999.
18. Beeman, D. Industrial Power System Hand book. 2. ed. La Habana: Instituto Cubano del Libro, 1975. 971 p.
19. Chernobrovov N. Protective Relaying. Moscow: Mir, 1974 –1789p.
20. Colectivo de expertos. Ahorro de energía en proceso. Revista Energía. No 3. 1986
21. De Quesada, Martínez. A. Optimización de reactivo en circuitos eléctricos industriales. Revista Ingeniería Electroenergética. No 3, 1988.
22. Electric General: PQM, Metering Units, instruction manual, Multilin, Inc, 1999.
23. GONZALEZ P.I, RAMIREZ. M S. "*Compensación de la potencia reactiva en sistemas eléctricos*". Revista Geología y Minería. 1999.
24. Ivanov – Smoloenski, A.V. Máquinas Eléctricas: transformadores: t.1. Moscú: Editorial Mir, 1984. 472 p.
25. Lazarev, S, S. Fiabilidad en sistemas eléctricos. Editorial Instituto Energético de Moscú. 1989.
26. Maldonado. J;F. Instalación de capacitores en circuitos eléctricos. Revista Tecnología.1968.
27. MALIUK S. "*Compensación de potencia reactiva en la producción*". Stgo de Cuba. Edit.Oriente.1980.
  
28. Mazorra Soto, J. Suministro Eléctrico Industrial. Facultad de Energética ISPJAE.
29. Power Factor. Application Guide. 1996.
30. Power Systems. Reactive power compensation.1994.
31. Ribero Barburo, A. Pérdidas de energía en los transformadores de potencia. Boletín Informático CEC. Julio – Septiembre, 1999.

32. Stevenson, William D. Análisis de sistemas eléctricos de potencia. La Habana; Editorial Pueblo y Educación, 1982. 398 p.
33. Suministro de electricidad y equipos eléctricos. Kiev; GIPROSELMASH, 1973. 42 h. (Proyecto Técnico de la Fábrica de Combinadas KTP-1 en la República de Cuba).

[www.sam-schalterwelt.de/.../Vakuum-Leistungss](http://www.sam-schalterwelt.de/.../Vakuum-Leistungss).

<http://jaimenvp.tripod.com/Electricidad/paralelo01.HTM>

<http://fieee.zoomblog.com/transformadores>

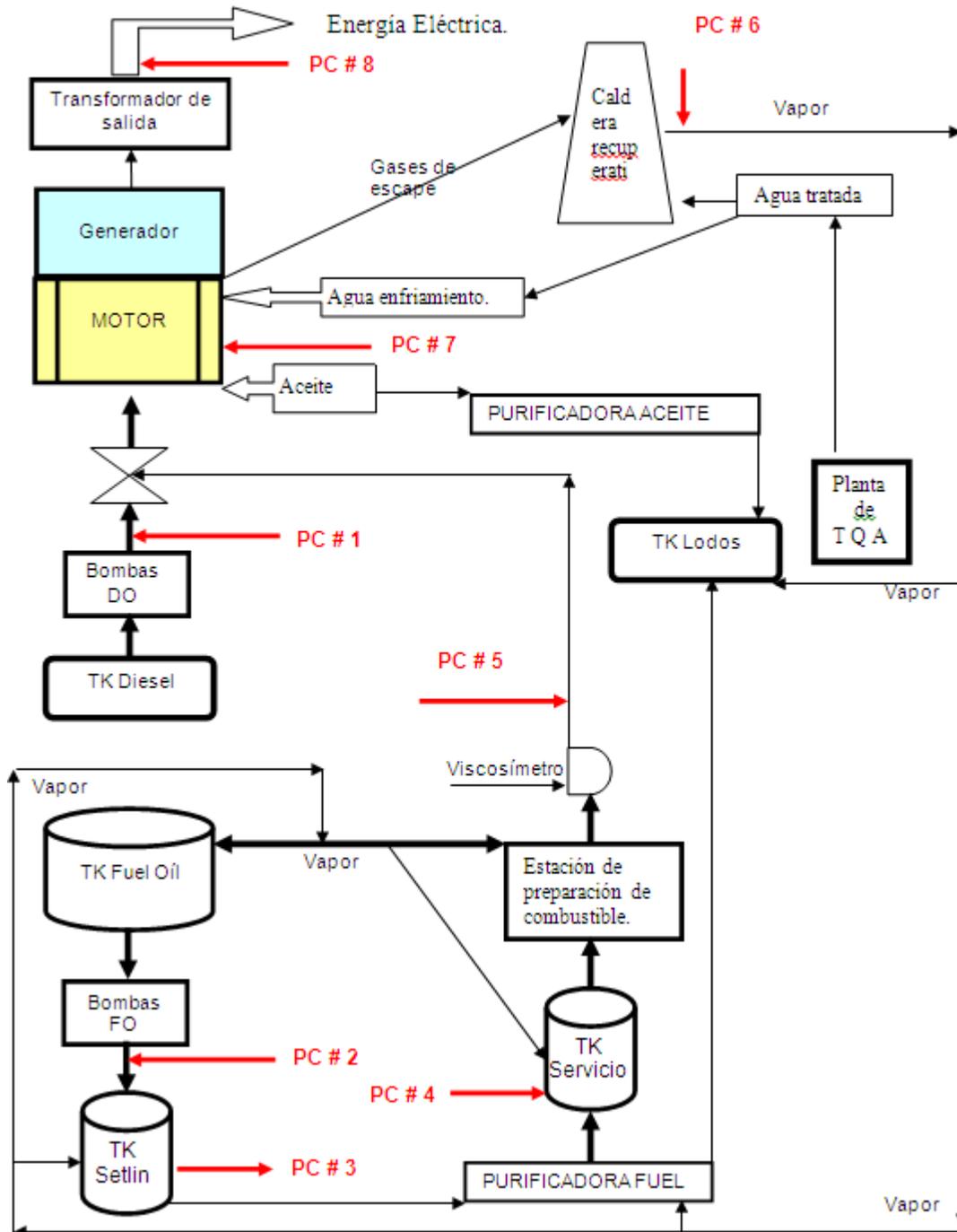
[www.softstartuk.com/.../air-circuit-b...](http://www.softstartuk.com/.../air-circuit-b...) - Reino Unido

<http://www.monografias.com/trabajos73/sistemaeléctrico/sistemaelectricico.shtml>

<http://www.ruelsa.com/cime/boletin/2005/bt10.pdf>

# Anexos

Anexo 1: Esquema donde se describe el flujo tecnológico del emplazamiento.

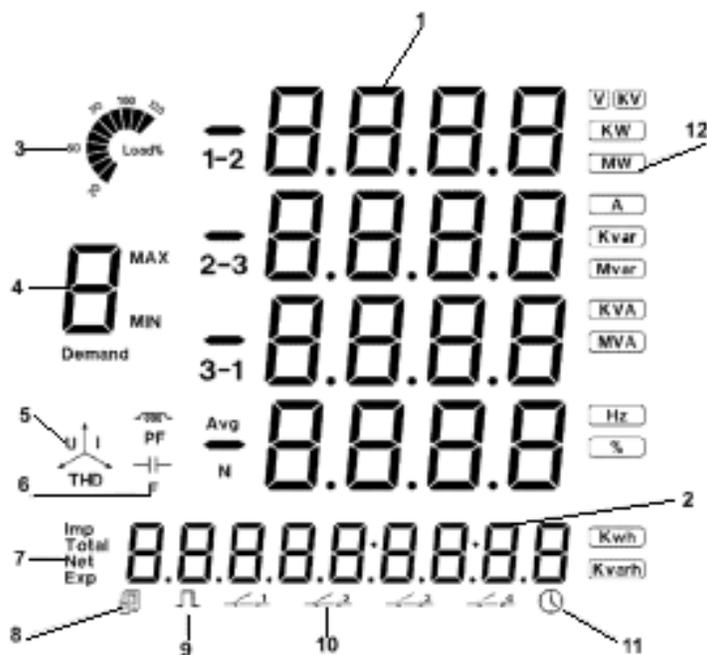




### Anexo 3: Metro Digital



### Operaciones Básicas



#### Anexo 4: Instrumentos analógicos.



**Anexo 5: Valores obtenidos con los instrumentos de medición.**

**Día 22/04/2012**

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
<b>TR3</b>	<b>Voltaje (V)</b>	476,37	472,40	6594,11	6632,00
	<b>Corriente(A)</b>	2,35	506,47	0,62	37,27
	<b>Frecuencia(Hz)</b>	59,82	59,97	59,85	60,00
	<b>Factor de potencia</b>	0,59	0,81	0,59	0,80
	<b>Temperatura de aceite(°C)</b>	32,67	40,67	33,44	40,67
	<b>Temperatura del devanado(°C)</b>	33,11	40,00	33,67	40,00
	<b>Potencia activa(kW)</b>	0,95	338,10	2,39	343,50
	<b>Potencia reactiva(kVAr)</b>	1,02	240,63	2,27	255,27
	<b>Potencia aparente(kVA)</b>	1,38	414,70	4,07	293,43
<b>TR4</b>	<b>Voltaje (V)</b>	476,14	472,67	6596,56	6620,00
	<b>Corriente(A)</b>	1,60	393,03	1,32	29,03
	<b>Frecuencia(Hz)</b>	59,84	59,94	59,72	59,98
	<b>Factor de potencia</b>	0,55	0,77	0,53	0,77
	<b>Temperatura de aceite(°C)</b>	37,44	40,33	37,44	40,33
	<b>Temperatura del devanado(°C)</b>	35,89	39,00	35,89	39,00
	<b>Potencia activa(kW)</b>	421,57	250,87	4,48	255,87
	<b>Potencia reactiva(kVAr)</b>	402,43	220,70	4,30	231,76
	<b>Potencia aparente(kVA)</b>	762,01	322,67	8,75	332,90

## Anexo 6: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 23/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	
TR3	Voltaje (V)	478,54	471,90	6603,11	6628,00
	Corriente(A)	2,19	499,73	0,89	37,07
	Frecuencia(Hz)	59,90	59,95	59,80	59,97
	Factor de potencia	0,60	0,81	0,60	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	37,44	41,00	37,44	41,00
	Temperatura del devanado(°C)	38,00	42,33	38,00	42,33
	Potencia activa(kW)	0,63	333,13	3,53	341,50
	Potencia reactiva(kVAr)	0,59	238,33	3,35	254,77
	Potencia aparente(kVA)	1,05	410,37	5,89	426,57
TR4	Voltaje (V)	477,30	473,57	6611,00	6630,67
	Corriente(A)	2,92	295,47	0,55	21,58
	Frecuencia(Hz)	59,85	59,98	59,77	59,93
	Factor de potencia	0,51	0,77	0,50	0,77
	Temperatura de aceite(°C)	37,22	42,33	37,22	42,33
	Temperatura del devanado(°C)	39,11	44,00	39,11	44,00
	Potencia activa(kW)	0,70	192,27	1,83	196,50
	Potencia reactiva(kVAr)	0,67	169,01	1,76	172,32
	Potencia aparente(kVA)	1,39	244,43	3,64	252,07

## Anexo 7: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 24/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	479,09	473,33	6618,44	6621,00
	Corriente(A)	1,40	513,30	0,64	37,87
	Frecuencia(Hz)	59,90	59,94	59,89	59,94
	Factor de potencia	0,58	0,80	0,58	0,79
	Temperatura de aceite(°C)	36,33	41,00	36,33	41,00
	Temperatura del devanado(°C)	37,89	43,00	37,89	43,00
	Potencia activa(kW)	0,39	338,93	2,34	344,93
	Potencia reactiva(kVAr)	0,37	247,57	2,24	260,67
	Potencia aparente(kVA)	0,67	419,87	4,24	431,43
	TR4	Voltaje (V)	477,08	472,53	6625,33
Corriente(A)		1,96	396,97	1,37	29,03
Frecuencia(Hz)		59,82	60,04	59,84	59,99
Factor de potencia		0,52	0,78	0,52	0,78
Temperatura de aceite(°C)		37,00	38,33	37,00	38,33
Temperatura del devanado(°C)		38,78	39,67	38,78	39,67
Potencia activa(kW)		488,54	252,67	4,84	262,93
Potencia reactiva(kVAr)		468,42	217,68	4,63	228,64
Potencia aparente(kVA)		933,92	324,53	9,05	337,27

## Anexo 8: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 25/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
<b>TR3</b>	<b>Voltaje (V)</b>	475,66	472,40	6579,11	6610,00
	<b>Corriente(A)</b>	1,76	499,80	0,53	37,35
	<b>Frecuencia(Hz)</b>	59,80	59,97	59,96	60,01
	<b>Factor de potencia</b>	0,61	0,81	0,60	0,79
	<b>Temperatura de aceite(°C)</b>	37,67	41,67	37,67	41,67
	<b>Temperatura del devanado(°C)</b>	39,78	43,33	39,78	43,33
	<b>Potencia activa(kW)</b>	0,51	331,27	2,09	342,67
	<b>Potencia reactiva(kVAr)</b>	0,48	233,17	1,98	257,30
	<b>Potencia aparente(kVA)</b>	0,84	404,83	3,47	429,27
<b>TR4</b>	<b>Voltaje (V)</b>	476,97	473,10	6609,78	6664,00
	<b>Corriente(A)</b>	0,97	358,63	0,33	26,36
	<b>Frecuencia(Hz)</b>	59,81	60,00	59,96	59,99
	<b>Factor de potencia</b>	0,58	0,77	0,55	0,77
	<b>Temperatura de aceite(°C)</b>	38,67	40,67	38,67	40,67
	<b>Temperatura del devanado(°C)</b>	40,56	42,33	40,56	42,33
	<b>Potencia activa(kW)</b>	0,30	230,27	1,21	236,57
	<b>Potencia reactiva(kVAr)</b>	0,28	201,57	1,15	210,28
	<b>Potencia aparente(kVA)</b>	0,46	294,30	2,18	302,97

**Anexo 9: Valores obtenidos con los instrumentos de medición**  
**Día 26/04/2012**

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
<b>TR3</b>	<b>Voltaje (V)</b>	478,12	472,07	6629,22	6618,00
	<b>Corriente(A)</b>	2,36	509,70	0,21	37,44
	<b>Frecuencia(Hz)</b>	59,84	59,99	59,97	60,01
	<b>Factor de potencia</b>	0,60	0,81	0,60	0,80
	<b>Temperatura de aceite(°C)</b>	37,67	40,33	37,67	40,33
	<b>Temperatura del devanado(°C)</b>	39,78	42,00	39,78	42,00
	<b>Potencia activa(kW)</b>	0,67	339,63	0,82	344,87
	<b>Potencia reactiva(kVAr)</b>	0,64	243,10	0,78	256,97
	<b>Potencia aparente(kVA)</b>	1,13	416,83	1,36	430,67
<b>TR4</b>	<b>Voltaje (V)</b>	476,84	471,27	6619,33	6678,00
	<b>Corriente(A)</b>	1,41	357,77	0,33	26,31
	<b>Frecuencia(Hz)</b>	59,81	60,00	59,98	60,00
	<b>Factor de potencia</b>	0,50	0,78	0,51	0,78
	<b>Temperatura de aceite(°C)</b>	37,11	40,33	37,11	40,33
	<b>Temperatura del devanado(°C)</b>	39,33	42,33	39,33	42,33
	<b>Potencia activa(kW)</b>	0,33	231,00	1,15	238,47
	<b>Potencia reactiva(kVAr)</b>	0,32	197,22	1,10	207,16
	<b>Potencia aparente(kVA)</b>	0,68	293,97	2,21	305,03

## Anexo 10: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 27/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	477,04	472,73	6632,56	6596,33
	Corriente(A)	1,58	540,53	0,53	39,41
	Frecuencia(Hz)	59,79	59,98	59,97	60,02
	Factor de potencia	0,60	0,80	0,60	0,79
	Temperatura de aceite(°C)	38,00	41,00	38,00	41,00
	Temperatura del devanado(°C)	39,56	43,00	39,56	43,00
	Potencia activa(kW)	0,46	352,77	2,17	359,13
	Potencia reactiva(kVAr)	0,43	262,33	2,05	276,27
	Potencia aparente(kVA)	0,76	440,00	3,51	452,03
	TR4	Voltaje (V)	479,96	471,50	6621,56
Corriente(A)		1,54	335,23	0,87	24,82
Frecuencia(Hz)		59,84	59,89	59,97	59,95
Factor de potencia		0,54	0,79	0,54	0,78
Temperatura de aceite(°C)		38,67	39,67	38,67	39,67
Temperatura del devanado(°C)		40,56	41,00	40,56	41,00
Potencia activa(kW)		0,40	222,17	3,14	223,63
Potencia reactiva(kVAr)		0,38	180,47	3,00	192,78
Potencia aparente(kVA)		0,74	277,30	5,74	281,47

## Anexo 11: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 28/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	477,90	472,00	6578,67	6610,67
	Corriente(A)	1,73	522,63	0,62	38,36
	Frecuencia(Hz)	59,92	59,96	60,00	59,99
	Factor de potencia	0,60	0,80	0,60	0,79
	Temperatura de aceite(°C)	38,89	41,33	38,89	41,33
	Temperatura del devanado(°C)	41,11	43,00	41,11	43,00
	Potencia activa(kW)	0,49	344,47	2,48	350,40
	Potencia reactiva(kVAr)	0,47	250,93	2,35	264,87
	Potencia aparente(kVA)	0,83	425,43	4,12	439,77
	TR4	Voltaje (V)	478,18	474,57	6588,11
Corriente(A)		1,67	438,00	0,56	32,29
Frecuencia(Hz)		59,95	59,98	59,95	59,99
Factor de potencia		0,50	0,78	0,51	0,77
Temperatura de aceite(°C)		38,44	38,33	38,44	38,33
Temperatura del devanado(°C)		40,56	38,67	40,56	38,67
Potencia activa(kW)		0,40	282,23	1,89	287,70
Potencia reactiva(kVAr)		0,39	243,14	1,82	256,22
Potencia aparente(kVA)		0,80	360,37	3,67	371,27

## Anexo 12: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 29/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	481,57	474,60	6605,22	6633,33
	Corriente(A)	2,03	494,47	0,62	36,69
	Frecuencia(Hz)	59,92	59,97	59,97	59,94
	Factor de potencia	0,61	0,81	0,60	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	37,67	37,67	37,67	37,67
	Temperatura del devanado(°C)	38,78	38,67	38,78	38,67
	Potencia activa(kW)	0,60	331,23	2,47	338,17
	Potencia reactiva(kVAr)	0,56	234,20	2,34	252,33
	Potencia aparente(kVA)	0,98	405,50	4,10	422,67
TR4	Voltaje (V)	480,79	473,50	6609,78	6636,00
	Corriente(A)	7,10	292,10	1,27	21,79
	Frecuencia(Hz)	59,95	59,96	59,97	59,98
	Factor de potencia	0,52	0,75	0,52	0,75
	Temperatura de aceite(°C)	38,56	38,67	38,56	38,67
	Temperatura del devanado(°C)	39,67	41,33	39,67	41,33
	Potencia activa(kW)	1,83	180,40	4,59	185,30
	Potencia reactiva(kVAr)	1,75	174,13	4,39	182,03
	Potencia aparente(kVA)	3,40	242,40	8,39	248,67

## Anexo 13: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 30/04/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	479,32	472,97	6621,56	6604,67
	Corriente(A)	1,39	502,37	0,34	38,10
	Frecuencia(Hz)	59,93	59,94	59,98	60,01
	Factor de potencia	0,60	0,81	0,60	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	38,33	40,00	38,33	40,00
	Temperatura del devanado(°C)	39,67	41,33	39,67	41,33
	Potencia activa(kW)	0,41	344,37	1,37	335,17
	Potencia reactiva(kVAr)	0,38	244,60	1,30	261,00
	Potencia aparente(kVA)	0,67	421,10	2,29	435,37
TR4	Voltaje (V)	479,43	473,40	6608,22	6614,00
	Corriente(A)	1,81	382,53	0,59	27,43
	Frecuencia(Hz)	59,80	59,93	59,84	60,01
	Factor de potencia	0,54	0,78	0,54	0,77
	Temperatura de aceite(°C)	38,22	37,67	38,22	37,67
	Temperatura del devanado(°C)	39,67	38,33	39,67	38,33
	Potencia activa(kW)	0,47	241,43	2,06	245,13
	Potencia reactiva(kVAr)	0,45	213,49	1,98	217,20
	Potencia aparente(kVA)	0,87	315,27	3,91	324,97

## Anexo 14: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 1/05/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	473,38	474,00	6564,67	6627,33
	Corriente(A)	1,36	502,70	0,52	36,66
	Frecuencia(Hz)	59,93	59,89	59,98	59,95
	Factor de potencia	0,60	0,81	0,60	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	37,56	39,33	37,56	39,33
	Temperatura del devanado(°C)	38,89	40,67	38,89	40,67
	Potencia activa(kW)	0,38	335,70	2,05	340,07
	Potencia reactiva(kVAr)	0,36	240,27	1,95	252,57
	Potencia aparente(kVA)	0,64	412,53	3,43	424,13
TR4	Voltaje (V)	475,36	473,53	6581,00	6638,00
	Corriente(A)	1,44	307,33	0,38	22,62
	Frecuencia(Hz)	59,89	59,93	59,98	59,86
	Factor de potencia	0,49	0,78	0,48	0,77
	Temperatura de aceite(°C)	37,56	39,67	37,56	39,67
	Temperatura del devanado(°C)	38,89	40,00	38,78	40,00
	Potencia activa(kW)	0,34	199,47	1,21	203,00
	Potencia reactiva(kVAr)	0,33	171,57	1,17	178,38
	Potencia aparente(kVA)	0,69	256,97	2,52	260,77

## Anexo 15: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 2/05/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	424,97	475,13	6613,44	6601,33
	Corriente(A)	60,97	534,50	4,76	39,07
	Frecuencia(Hz)	53,25	60,03	59,87	60,00
	Factor de potencia	0,60	0,80	0,61	0,79
	Temperatura de aceite(°C)	33,33	39,33	37,44	39,33
	Temperatura del devanado(°C)	34,56	40,67	38,44	40,67
	Potencia activa(kW)	0,47	351,77	1,93	356,90
	Potencia reactiva(kVAr)	0,45	257,97	1,83	260,43
	Potencia aparente(kVA)	0,79	435,73	3,23	449,83
TR4	Voltaje (V)	424,81	475,53	6614,11	6618,00
	Corriente(A)	48,25	371,17	3,97	27,29
	Frecuencia(Hz)	53,31	59,99	59,95	60,02
	Factor de potencia	0,58	0,78	0,56	0,77
	Temperatura de aceite(°C)	33,22	37,00	37,33	37,00
	Temperatura del devanado(°C)	33,56	38,33	37,89	38,33
	Potencia activa(kW)	0,61	239,43	2,16	244,50
	Potencia reactiva(kVAr)	0,56	206,46	2,06	216,17
	Potencia aparente(kVA)	0,85	285,53	3,99	291,37

## Anexo 16: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 3/05/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	478,20	476,50	6593,67	6633,33
	Corriente(A)	2,58	498,17	0,95	36,35
	Frecuencia(Hz)	59,85	60,02	59,93	59,98
	Factor de potencia	0,60	0,81	0,58	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	37,22	38,33	37,22	38,33
	Temperatura del devanado(°C)	37,44	40,00	37,67	40,00
	Potencia activa(kW)	0,74	331,87	3,74	337,03
	Potencia reactiva(kVAr)	0,70	233,90	3,55	246,07
	Potencia aparente(kVA)	1,23	406,03	6,23	418,17
TR4	Voltaje (V)	479,33	473,17	6610,22	6628,00
	Corriente(A)	2,41	365,73	0,44	26,87
	Frecuencia(Hz)	59,92	59,98	59,94	59,99
	Factor de potencia	0,54	0,77	0,53	0,76
	Temperatura de aceite(°C)	39,00	25,89	39,00	37,67
	Temperatura del devanado(°C)	39,89	39,33	39,89	39,33
	Potencia activa(kW)	0,63	232,93	1,61	238,27
	Potencia reactiva(kVAr)	0,61	208,72	1,54	216,42
	Potencia aparente(kVA)	1,16	298,93	2,94	308,70

## Anexo 17: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 4/05/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	478,20	476,50	6593,67	6633,33
	Corriente(A)	2,58	498,17	0,95	36,35
	Frecuencia(Hz)	59,85	60,02	59,93	59,98
	Factor de potencia	0,60	0,81	0,58	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	37,22	38,33	37,22	38,33
	Temperatura del devanado(°C)	37,44	40,00	37,67	40,00
	Potencia activa(kW)	0,74	331,87	3,74	337,03
	Potencia reactiva(kVAr)	0,70	233,90	3,55	246,07
	Potencia aparente(kVA)	1,23	406,03	6,23	418,17
	TR4	Voltaje (V)	479,33	473,17	6610,22
Corriente(A)		2,41	365,73	0,44	26,87
Frecuencia(Hz)		59,92	59,98	59,94	59,99
Factor de potencia		0,54	0,77	0,53	0,76
Temperatura de aceite(°C)		39,00	25,89	39,00	37,67
Temperatura del devanado(°C)		39,89	39,33	39,89	39,33
Potencia activa(kW)		0,63	232,93	1,61	238,27
Potencia reactiva(kVAr)		0,61	208,72	1,54	216,42
Potencia aparente(kVA)		1,16	298,93	2,94	308,70

## Anexo 18: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 5/05/2012

	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	479,43	472,10	6607,11	6612,00
	Corriente(A)	1,27	511,63	0,84	37,74
	Frecuencia(Hz)	59,85	59,99	59,96	59,98
	Factor de potencia	0,60	0,80	0,60	0,79
	Temperatura de aceite(°C)	35,56	40,33	35,67	40,33
	Temperatura del devanado(°C)	36,44	42,33	36,33	42,33
	Potencia activa(kW)	0,36	338,10	3,33	345,40
	Potencia reactiva(kVAr)	0,34	246,53	3,16	260,37
	Potencia aparente(kVA)	0,61	418,23	5,56	432,50
	TR4	Voltaje (V)	478,83	474,13	6599,33
Corriente(A)		1,71	332,23	0,63	31,75
Frecuencia(Hz)		59,98	59,98	59,96	59,94
Factor de potencia		0,51	0,77	0,51	0,78
Temperatura de aceite(°C)		36,33	40,33	36,33	40,33
Temperatura del devanado(°C)		35,89	42,33	35,89	42,33
Potencia activa(kW)		0,41	222,33	2041,26	229,67
Potencia reactiva(kVAr)		0,40	206,30	1965,85	214,60
Potencia aparente(kVA)		0,82	291,33	4140,80	299,53

## Anexo 19: Valores obtenidos con los instrumentos de medición

Día 6/05/2012

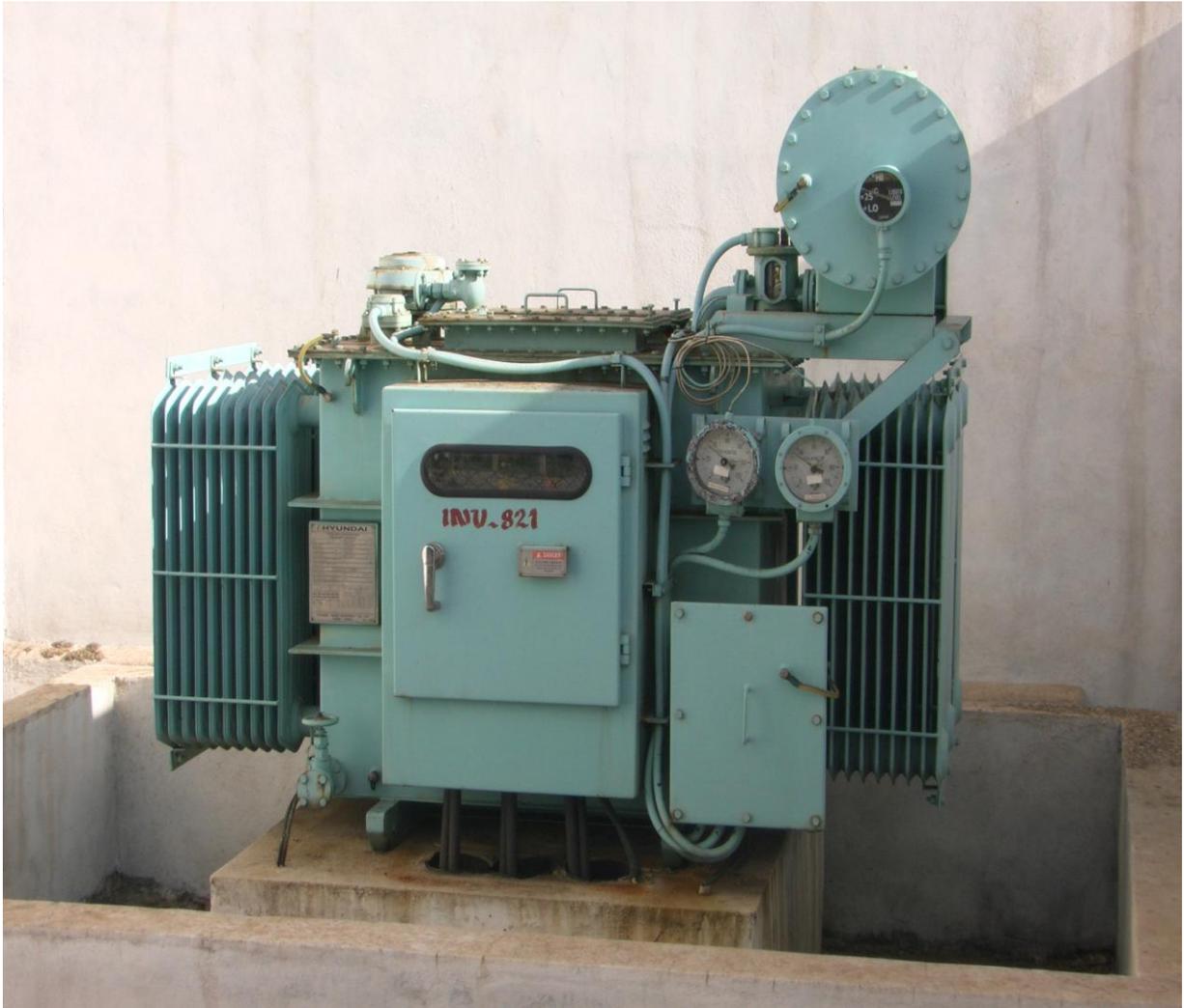
	Parámetros	Baja Tensión		Alta Tensión	
		sin carga	con carga	sin carga	con carga
TR3	Voltaje (V)	475,86	471,60	6604,67	6624,00
	Corriente(A)	0,86	500,40	0,56	37,12
	Frecuencia(Hz)	60,00	59,91	60,00	59,94
	Factor de potencia	0,59	0,81	0,60	0,80
	Temperatura de aceite(°C)	37,44	39,67	37,44	39,67
	Temperatura del devanado(°C)	38,56	41,67	38,56	41,67
	Potencia activa(kW)	0,24	334,50	2,28	342,90
	Potencia reactiva(kVAr)	0,23	239,20	2,16	253,03
	Potencia aparente(kVA)	0,40	413,00	3,67	426,10
TR4	Voltaje (V)	477,88	476,60	6584,67	6644,00
	Corriente(A)	1,64	344,53	0,63	25,37
	Frecuencia(Hz)	59,95	59,84	59,85	59,93
	Factor de potencia	0,51	0,76	0,52	0,75
	Temperatura de aceite(°C)	37,33	39,33	37,33	39,33
	Temperatura del devanado(°C)	38,89	41,00	38,89	41,00
	Potencia activa(kW)	0,40	217,70	2,13	225,30
	Potencia reactiva(kVAr)	0,39	200,98	2,05	209,25
	Potencia aparente(kVA)	0,78	285,07	4,17	293,30

## Anexo 20: Selección de los conductores.

Cable No.	Insul.	Volt	Cable Q'ty	Cable	Size (mm2)	Length (m)	Total length	From	To
D-PWR1-0012	FR-CV	0.6kV	1	2C	2,5	17	17	#1 BATT' CHARGER PANEL	#1 INCOMING ACB PANEL UNION
D-PWR1-0034	FR-CV	0.6kV	1	2C	2,5	17	17	#2 BATT' CHARGER PANEL	#2 INCOMING ACB PANEL UNION
D-PWR1-0056	FR-CV	0.6kV	1	2C	2,5	17	17	#3BATT' CHARGER PANEL	#3 INCOMING ACB PANEL UNION

Cable No.	Insul.	Volt	Cable Q'ty	Cable	Size (mm2)	Length (m)	Total length	From	To
P-AUX12-0001	FR-CV	0.6kV	6	1C	300	6	6	UNION AUX TR #1 y 2	#1 INCOMING ACB PANEL UNION
P-AUX34-0001	FR-CV	0.6kV	6	1C	300	6	6	UNION AUX TR #3 y 4	#2 INCOMING ACB PANEL UNION
P-AUX56-0001	FR-CV	0.6kV	6	1C	300	6	6	UNION AUX TR #5 y 6	#3 INCOMING ACB PANEL UNION

## Anexo 21: Transformador auxiliar



**Anexo 22: Interruptor HIAN 12.**







