



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

Trabajo de Diploma en opción al título: De

Ingeniero Eléctrico

*Título: Diagnóstico del sistema eléctrico en el Centro de
Investigación Siderúrgica de Nicaro.*

Autor: Osmel Rodríguez Sánchez

*Tutor(es): Ing. Yordan Guerrero Rojas.
Dpto. Ingeniería Eléctrica.
ISMM
Ing. Osnarky Hernández Ricardo.
Esp. “C”. Ahorro y Uso Racional de la Energía.
DSIT, Nicaro.*

**Moa 2010
Año 52 de la Revolución.**

Declaración de autoridad.

Yo: Osmel Rodríguez Sánchez.

Autor de este Trabajo de Diploma certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, para hacer uso del mismo en la finalidad que estime conveniente al Ing. Yordan Guerrero Rojas.

Firma del Tutor.

Firma del Diplomante.

Dedicatoria.

Este trabajo está dedicado a mi querida niña Máryuris Rodríguez Reyes y a mi madre Teresa Sánchez López por haberme dado la vida y guiarme siempre por el camino correcto.

A mi esposa Yoania Reyes Rojas por representar tanto para mí y por ser mi compañera por muchos años.

A mis hermanos y familia que siempre me han brindado apoyo y confianza.

A mis amigos y todas las demás personas que me quieren.

Agradecimientos.

Quiero expresar mi agradecimiento a todos los que de una forma u otra han colaborado en la realización de este trabajo; pero entre ellos desearía nombrar de forma explícita a los ingenieros Yordan Guerrero Rojas y Osnarky Hernández Ricardo.

Particular mención requieren mi esposa y mi hija por su ayuda y paciencia sin límites.

Pensamiento

“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.”

...Aristóteles

Resumen.

El presente trabajo tiene como finalidad la revisión del sistema eléctrico del Centro de Investigación Siderúrgica de Nicaro para la identificación de las principales deficiencias en el mismo, los mayores consumidores; además de realizar el monolineal de la empresa y establecer la correspondencia entre la potencia instalada y la capacidad de distribución del transformador principal. Mediante la realización del levantamiento de las cargas, se establecieron las reservas en el uso de la energía, se identificaron los principales consumidores e implantaron medidas organizativas y de inversión que permitirán elevar la eficiencia y reducir los costos de electricidad. Se profundizó en el estudio del portador electricidad a partir del procesamiento de mediciones realizadas en la barra principal y en las áreas, expresando los resultados mediante la utilización de herramientas estadísticas básicas.

Summary.

The present work has as purpose the revision of the electric system of the Center of Steel Investigation of Nicaro for the identification of the main deficiencies in the same one, the biggest consumers; besides to carry out the single line scheme of the company and to establish the correspondence between the installed power and the capacity of distribution of the main transformer. By means of the load's study, the reservations in the use of the energy was settled down, the main consumers were identified and they implanted organizational measures and investment that will allow to elevate the efficiency and to reduce the electricity costs. It was deepened in the payee's electricity study starting from the prosecution of mensurations carried out in the main bar and in the areas, expressing the results by means of the use of basic statistical tools.

Índice.

<i>Declaración de autoridad.</i>	I
<i>Dedicatoria.</i>	II
<i>Agradecimientos.</i>	III
<i>Pensamiento.</i>	IV
Resumen.....	V
Summary.....	VI
Introducción general.	1
Problema:	1
Hipótesis:	2
Objetivo General:	2
Objetivos específicos:	2
Capítulo I. Fundamento teórico.	4
1.1 Introducción.	4
1.2 Herramientas y métodos.....	4
1.2.1 Selección de los conductores.	4
1.2.2 Cálculo de la corriente de cortocircuito para ajuste de corriente de corte en dispositivos de protección.....	8
1.3 Análisis de eficiencia en motores asíncronos.....	10
1.3.1 Servicios nominales de los motores eléctricos.....	12
1.3.2 Dispositivos elementales en accionamientos de motores.	15
1.4 Normas de selección de protecciones para baja tensión.	20
1.4.1 Selección de interruptores automáticos.....	22
1.5 Fundamentos generales acerca de la selección del número y potencia de los transformadores de fuerza.....	23
1.5.1 Selección de la potencia de los transformadores.	24
1.5.2 Selección de trabajo económico de los transformadores.	26
1.6 Método de cálculo para las pérdidas por transformación.	27
1.7 Conclusiones del Capítulo I.	28
Capítulo II. Sistema eléctrico de la Instalación.....	29
2.1 Introducción.	29
2.2 Caracterización de la instalación objeto de estudio	29

2.3 Sistema de Suministro Eléctrico.	30
2.3.1 Estado de los principales paneles eléctricos. Principales problemas.	31
2.4 Estado de los dispositivos de protección.....	33
2.6 Levantamiento de cargas instaladas.	34
2.7 Principales magnitudes eléctricas de la instalación.	35
2.7.1 Comportamiento de las variables eléctricas en el horno de arco eléctrico.	35
2.7.2 Comportamiento de las variables eléctricas en el Cuarto de Control.	38
2.7.3 Comportamiento de las variables eléctricas en Planta de Carbón.	41
2.8 Pérdidas de transformación.	44
2.8.1 Pérdidas de transformación actuales.	44
2.8.2 Pérdidas de transformación disminuyendo la capacidad del transformador actual.	45
2.8 Selección de conductores.	46
2.9 Actualización del monolineal y esquemas de paneles eléctricos principales.	47
2.10 Facturas de electricidad y demanda contratada.....	48
2.11 Conclusiones del Capítulo 2.	50
Capítulo III Análisis de los resultados.	51
3.1 Introducción.	51
3.2 Análisis de las mediciones realizadas en el nodo principal, los ramales principales y los equipos de mayor demanda.	51
3.2.1 Conclusiones de las mediciones del horno de arco eléctrico.	51
3.2.2 Conclusiones de las mediciones de la Planta de Carbón.	52
3.2.3 Conclusiones de las mediciones del Cuarto de Control.	52
3.3 Selección de conductores.	53
3.4 Selección de dispositivos de protección.....	55
3.5 Medidas de mejora de la eficiencia en la instalación.....	55
3.6 Valoración económica del trabajo.....	56
3.7 Conclusiones del Capítulo III.	57
Conclusiones.	58
Recomendaciones.....	59
Bibliografía.	60
Anexos	

Introducción general.

La institución de nombre comercial DSIT perteneciente al grupo Siderúrgica Acinox S.A, se encuentra enclavada en la costa noroeste de la región oriental de Cuba, específicamente en la zona minero metalúrgica de Nicaro. Durante más de 20 años ha mantenido un vínculo directo con las empresas productoras de acero, prestando una amplia gama de servicios y tecnologías, generando nuevos productos, encaminados a la disminución de los costes de producción y a la mayor integración de la industria nacional.

Lo que hoy todos conocemos como Centro de Investigaciones Siderúrgicas surgió en los primeros años de la década de los 80 como planta piloto para la siderúrgica integrada, con el objetivo de procesar un volumen de colas, residuos sólidos de la empresa René Ramos Latour, obtener concentrado de Hierro por vía de separación magnética húmeda y enviarlo a la entonces URSS para realizarle las pruebas siderúrgicas correspondientes.

Esta planta piloto fue diseñada y suministrada por la URSS. Algo que debemos tener en cuenta al evaluar el esquema eléctrico que funciona en estos momentos por las características constructivas y de diseño de los técnicos soviéticos.

A pesar del éxito de estos trabajos el proyecto de la siderúrgica integrada se canceló y las instalaciones pasaron por diferentes momentos e instituciones hasta que en el año 1985 se crea por resolución el Centro de Investigaciones Siderúrgicas.

Como consecuencia de lo antes expuesto a la vez que se trabajaba en las líneas de investigación orientadas por el estado, se comenzó a buscar soluciones para la obtención de nuevos productos siendo el primero de ellos la Antracita 200, destinada a la fábrica de acumuladores XX Aniversario y que sustituyó el carbón Uinga, importado desde Japón.

Para la obtención de este producto fue necesario ejecutar inversiones que incidieron de manera determinante en el consumo energético. A medida que se diversificaban las producciones y se desarrollaban nuevos productos y tecnologías, las exigencias energéticas también variaban.

Problema:

Considerando que se continúa trabajando con el esquema montado en los 80 se cuenta con un sistema eléctrico que no se ajusta a las exigencias actuales, los esquemas de pizarras eléctricas, monolineales y dispositivos de protección, se encuentran desactualizados.

Hipótesis:

Si se realiza un análisis del sistema eléctrico actual en la entidad, se pueden tomar las medidas adecuadas para reducir los gastos por concepto de consumo de energía eléctrica, conocer el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas que lo caracterizan y establecer la correspondencia entre la potencia instalada y la capacidad de distribución del transformador principal.

Objetivo General:

Identificar las insuficiencias existentes en el sistema eléctrico de la entidad.

Objetivos específicos:

1. Realizar el levantamiento de cargas para determinar la potencia instalada.
2. Actualizar el monolineal y los planos eléctricos.
3. Determinar el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas, en los circuitos principales y en los equipos de mayor demanda.
4. Determinar la relación entre la demanda energética de la entidad y la capacidad instalada en el transformador de alimentación.
5. Proponer un plan de medidas para la disminución del consumo del portador energético electricidad.

Objeto de estudio:

Sistema eléctrico de la instalación.

Campo de acción:

Máquinas Eléctricas, Suministro Eléctrico, Protecciones Eléctricas.

Tareas:

- Estudiar el sistema eléctrico de la entidad, desglosado por circuitos ramales.
- Modificar el esquema monolineal actual.
- Medir las principales magnitudes eléctricas (voltaje, corriente, potencia, energía, factor de potencia, etc.) en los circuitos principales y en los equipos de mayor demanda.

- Redactar las indicaciones para el plan de medidas para la disminución del consumo del portador energético electricidad.

Resultados esperados:

1. Identificación de los principales problemas del sistema eléctrico.
2. Planos eléctricos actualizados.
3. Documentación sobre el estado actual de los paneles eléctricos y sus componentes por áreas.
4. Documentación sobre el comportamiento de la carga en el transformador principal.
5. Propuesta de medidas para garantizar una explotación más racional del sistema.

Capítulo I. Fundamento teórico.

1.1 Introducción.

En este capítulo se hace referencia a los aspectos teóricos fundamentales para la selección de conductores eléctricos, los métodos de cálculo para la selección de protecciones eléctricas, el análisis de la eficiencia energética y elementos de accionamientos en motores eléctricos, el cálculo de pérdidas de transformación, así como los criterios para la selección de potencia y número de transformadores.

Temas que permiten evaluar de forma general un sistema eléctrico, orientado en este caso a las necesidades del estudio en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas.

1.2 Herramientas y métodos.

El cálculo de los parámetros de los dispositivos eléctricos que conforman la instalación es necesario para la correcta explotación de los mismos. A continuación se describen los principales métodos para la selección de:

Dispositivos de protección.

Conductores eléctricos.

Transformadores eléctricos.

1.2.1 Selección de los conductores.

Para la selección de los conductores eléctricos se debe partir de conocer la corriente de carga que circulará por ellos, para este fin existen dos métodos fundamentales:

1. Método que determina la carga a través del producto de la magnitud de la potencia por un coeficiente menor que la unidad; $P_c = K * P_n$ (1.1)

Donde:

P_c es la potencia de carga.

P_n es la potencia nominal.

K es el coeficiente de demanda utilizado en función del coeficiente de utilización.

2. Método que determina la carga por medio del producto de la magnitud de la potencia media por un coeficiente mayor o igual que la unidad; $P_c = K * P_m$ (1.2)

Donde P_m es la potencia media.

Al primer grupo pertenece el método de determinación de la carga por medio de la potencia instalada y el coeficiente de demanda, éste último puede estar en correspondencia con el coeficiente de utilización. [Feodorov, 1987].

Tabla 1.1 Valores de coeficiente de utilización y demanda.

K_u	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
K_d	0.5	0.6	0.65-0.7	0.75-0.8	0.85-0.9	0.92-0.95

Tabla 1.2 Valores de coeficiente de simultaneidad por cantidad de consumidores.

Cantidad de consumidores	Factor de simultaneidad (ks)	Cantidad de consumidores	Factor de simultaneidad (ks)
2 a 4	1	25 a 29	0,46
5 a 9	0,78	30 a 34	0,44
10 a 14	0,63	35 a 39	0,42
15 a 19	0,53	40 a 49	0,41
20 a 24	0,49	50 ó más	0,40

Además de los coeficientes de utilización y demanda (Tabla 1.1), se cuenta además con el coeficiente de simultaneidad, que puede estar en función de la cantidad de consumidores, como se muestra en la tabla 1.2. Este factor se aplica a cada grupo de carga (alimentadas desde un panel de distribución). La determinación de estos factores es una responsabilidad del diseñador, porque requiere un conocimiento detallado de la instalación y las condiciones en las que se van a explotar los circuitos individuales. Por esta razón no es posible dar valores precisos de aplicación. [Cuaderno Electrotécnico Cubano].

Para la selección de las secciones de los conductores y cables disponemos de diferentes métodos que a continuación se describen.

Métodos:

1. Por calentamiento;

El calentamiento de los conductores no debe exceder los siguientes valores de temperatura admisible:

- * 55 °C para conductores y cables con aislamiento de goma.
- * 80 °C para cables con aislamiento de papel.
- * 70 °C para los conductores desnudos y barras.

El aumento de la temperatura por encima de las normas establecidas conduce al desgaste nocivo del aislamiento y reduce la confiabilidad de los contactos en los puntos de unión de los conductores. Mientras mayor sea la temperatura del medio ambiente menor debe ser la carga del conductor por corriente.

La selección de las secciones de los conductores y cables por este método se realiza con la ayuda de tablas disponibles en diferentes manuales considerando condiciones de temperatura y de tendido.

Sobre la base de las condiciones ambientales y temperatura admisible se fabrica y clasifica el aislamiento de los conductores eléctricos, tal como se ve en la siguiente tabla.

Tabla 1.3. Clasificación de aislamiento para conductores eléctricos.

Nombre de aislante	Clase	Temperatura máxima de operación
Goma	R	60 ⁰ C
Goma resistente al calor	RH	75 ⁰ C
Goma resistente a la humedad	RW	60 ⁰ C
Goma resistente a la humedad y al calor	RH - RW	60 ⁰ C
		75 ⁰ C
Goma látex	RU	60 ⁰ C
Goma látex resistente a la humedad	RUW	60 ⁰ C
Termoplástico	T	60 ⁰ C
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60 ⁰ C

2. Por caída de voltaje.

La caída de voltaje en los conductores y en los circuitos de corriente alterna se debe a la resistencia de los mismos al paso de la corriente y a la reactancia (inducción). El calor desarrollado por la disipación de la potencia en el alambre, deteriora el aislamiento del conductor, por tanto para evitar un pobre rendimiento y los otros posibles efectos, los conductores de los circuitos deben de seleccionarse para que mantengan la caída de tensión en dicho circuito dentro del 3%.

Sin embargo al cargar el circuito al 60% (recomendación) ofrece una protección sustancial contra la caída de tensión excesiva, el tamaño del conductor para tendidos largos debería siempre determinarse cuidadosamente para asegurar la capacidad libre que se ha tenido en cuenta. Los conductores usados en los tendidos largos, deben de seleccionarse sobre la base de mantener la caída de tensión dentro de los límites apropiados con la máxima carga posible.

Las caídas de voltaje deben ser determinadas debido a que la reducción de voltaje en los equipos de alumbrado reduce el flujo luminoso y la iluminación en el plano de trabajo se empeora, (su magnitud es proporcional al cuadrado del voltaje). Con la reducción de voltaje aplicado a los motores se reduce su torque de rotación, el cual para motores sincrónicos es directamente proporcional y para motores asincrónicos proporcional al cuadrado del voltaje residual.

Las magnitudes de las caídas de voltaje deben satisfacer determinadas exigencias establecidas de desviaciones y fluctuaciones permisibles de voltaje.

En sistemas trifásicos la magnitud de las pérdidas de voltaje de línea será igual a:

$$\Delta U_L = \sqrt{3} * \Delta U_f \quad (1.3)$$

3. Por demanda máxima.

Para seleccionar las secciones de los cables para los circuitos de distribución de una instalación la corriente I (en amperes) a través de un circuito está determinada por la siguiente ecuación.

$$I_b = \frac{S_{m\acute{a}x} * 1000}{\sqrt{3} * U} \quad (1.4)$$

Donde,

$S_{m\acute{a}x}$ es la demanda máxima real en kVA.

1.2.2 Cálculo de la corriente de cortocircuito para ajuste de corriente de corte en dispositivos de protección.

El cálculo de la corriente de cortocircuito es realizado con la finalidad de determinar la capacidad interruptiva de los dispositivos de protección. Para la determinación de esta magnitud se puede emplear el método de las unidades relativas o por unidad.

Todas las magnitudes que intervienen en el cálculo de las corriente de cortocircuito pueden ser expresadas en unidades concretas (kVA, A, V, Ω) o en unidades relativas (en fracciones o en por ciento de la magnitud base elegida).

Para la expresión de todas las magnitudes en unidades relativas se deben establecer las magnitudes o condiciones básicas.

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se parte del siguiente razonamiento:

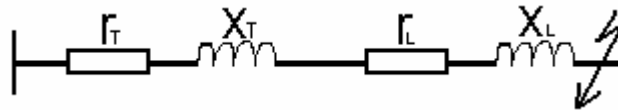


Figura. 1.1 Sección de una fase cortocircuitada en un punto de la línea.

r_T Resistencia del transformador.

r_L Resistencia de la línea.

X_T Reactancia del transformador.

X_L Reactancia de la línea.

Estas magnitudes son obtenidas por datos de chapa, por catálogos de fabricantes y analíticamente.

Partiendo de los datos conocidos son seleccionadas las magnitudes bases:

Potencia base S_b y tensión base V_b , a partir de estas magnitudes podemos determinar la corriente base y con ella la impedancia base que permite luego determinar las resistencias y reactancias en valores por unidad

$S_b = \text{Valor de referencia}$

$U_b = \text{Valor de referencia}$

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} * U_b}$$

$$Z_b = \frac{V_b}{\sqrt{3} * I_b} \quad \text{o} \quad Z_{b\text{fase}} = \frac{V_b \text{ fase}}{I_b \text{ fase}}$$

Seguidamente:

$$r_{t*} = \frac{r_t}{Z_b} \quad ; \quad r_{L*} = \frac{r_L}{Z_b} \quad ; \quad x_{t*} = \frac{x_t}{Z_b} \quad ; \quad x_{L*} = \frac{x_L}{Z_b}$$

donde, r_{t*}, x_{t*} ; r_{L*}, x_{L*} Resistencias y reactancias del transformador y la línea, expresadas en unidades relativas, referidas a las condiciones bases.

y se determina la I_{cc} en valores por unidad, a partir de unas series de expresiones que son mostradas a continuación:

$$I_{cc} = \frac{U_*}{Z_{cc}} \tag{1.5}$$

donde:

$$Z_{cc} = \sqrt{r_{cc}^2 + x_{cc}^2}$$

Donde (U) está expresado valores por unidad, y equivale a (1 pu).

$$r_{cc} = r_T + r_L \quad ; \quad x_{cc} = x_T + x_L$$

r_{cc}, x_{cc} Resistencia y reactancia de cortocircuito.

Z_{cc} Impedancia de cortocircuito.

I_{cc} Corriente de cortocircuito.

El resultado obtenido de la I_{cc} se encuentra expresado en valores por unidad, por lo que para llevarlo a (A) se debe multiplicar por la corriente base I_b .

Es válido aclarar que a pesar de realizar un correcto cálculo de la corriente de corte se debe tener en cuenta el lugar donde se instalará el interruptor, pues las altas temperaturas pueden provocar el disparo anticipado del dispositivo.

Tabla 1.4 Tablas para la determinación de los factores de reducción/aumento para interruptores automáticos con unidades de disparo térmicas no compensadas, de acuerdo con la temperatura.

C60H: curva C. C60N: curvas B y C (temperatura de referencia: 30 °C)									
Especific. (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,5
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2

NS250N/H/L (temperatura de referencia: 40 °C)					
Especific. (A)	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
TM160D	160	156	152	147	144
TM200D	200	195	190	185	180
TM250D	250	244	238	231	225

1.3 Análisis de eficiencia en motores asincrónicos.

Existen problemas en el buen funcionamiento de los motores asincrónicos tales como en la transformación de la energía eléctrica, aprovechada en la red, en energía mecánica, y en el funcionamiento del generador asincrónico, la transformación de la energía mecánica, obtenida del motor primario en energía eléctrica, entregada a la red. En dichos casos la energía se propaga del estator al rotor, o viceversa, mediante del campo magnético del espacio de aire. La transmisión de la energía a través del espacio de aire está relacionada con las fuerzas de origen electromagnético que se desarrollan en el rotor, las cuales crean un momento de rotación, que es el momento electromagnético de la máquina. La transformación de energía está vinculada con las pérdidas en las diferentes partes de la máquina, por lo que la potencia del flujo de energía, las pérdidas y los momentos de rotación constituye una serie de problemas importantes a la hora de estudiar las propiedades de trabajo de la máquina asincrónica.

Diagrama energético del motor asincrónico.

Véase P_1 la potencia eléctrica suministrada al motor, tal como se muestra en la figura 1.2. Parte de esta potencia (p_{cob1}) se consume en cubrir las pérdidas en el cobre del estator, y la otra parte se transforma en potencia del flujo giratorio. Pero en este caso, aparecen pérdidas en el acero de la máquina p_{ac} , prácticamente hay que tener en cuenta sólo las pérdidas en el acero del estator, siendo la frecuencia f_2 de remagnetización del acero del rotor ordinariamente es bastante pequeño (1-3 Hz), por tanto las pérdidas en el acero del rotor son pequeñas.

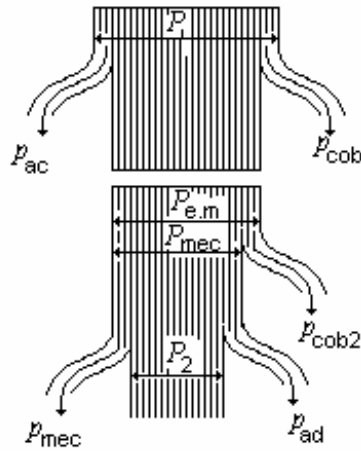


Figura. 1.2 Proceso de transformación de la energía eléctrica suministrada al motor en energía mecánica en el árbol.

La potencia electromagnética es:

$$P_{em} = P_1 - p_{cob1} - p_{ac} \quad (1.6)$$

La potencia electromagnética se propaga a través del espacio de aire al rotor. Si no existieran pérdidas en el rotor, la potencia se transformaría totalmente en mecánica. Pero al fluir la corriente por el devanado del rotor en este devanado aparecen pérdidas en el cobre o en el aluminio, según el material del devanado.

Teniendo en cuenta la precisión consideraremos que el devanado es de cobre y estudiaremos las pérdidas en el cobre p_{cob2} . Por tanto, la potencia mecánica total desarrollada por el motor en el árbol es:

$$P_{mec} = P_{em} - p_{cob2}$$

La potencia mecánica entregada por el motor P_2 es menor que la potencia P_{mec} en la magnitud de las pérdidas mecánicas p_{mec} y las pérdidas adicionales p_{ad} . Las pérdidas p_{ad} aparecen en los devanados y el acero de la máquina al girar el motor y están condicionadas por la presencia de dientes en el estator y rotor y por la distribución, no del todo sinusoidal, de las f.m. en el espacio.

Las pérdidas adicionales crean el mismo momento de freno adicional que las pérdidas mecánicas, por lo que se cubren de la misma manera que estas últimas, y al tener en cuenta el cuadro energético del trabajo del motor se adicionan a las pérdidas mecánicas. Tales se observan.

$$P_2 = P_{mec} - p_{mec} - p_{ad}.$$

De aquí obtenemos para el régimen de motor de la máquina asincrónica las relaciones siguientes:

$$P_1 = P_{em} + p_{mec.1} + p_{ac};$$

$$P_{em} = P_{mec} + p_{mec2};$$

$$P_{mec} = P_2 + p_{mec} + p_{ad}.$$

(1.7)

El rendimiento del motor es:

$$\eta = P_2 / P_1.$$

(1.8)

1.3.1 Servicios nominales de los motores eléctricos.

Sobre la base de las características de sobrecalentamiento de los motores eléctricos se pueden definir los servicios nominales de estos. Se entiende por servicio a las condiciones de operación de la máquina, incluido los períodos de funcionamiento en vacío y reposo, sus duraciones y su orden de sujeción en el tiempo.

Se define los servicios nominales siguientes, según Norma Cubana NC 59-03-01-3:

- Continuo
- Temporal.
- Intermitente periódico.
- Intermitentes con arranque frecuentes.
- Intermitente con arranque y frenaje eléctrico.

- Continuo, con carga intermitente.
- Continuo, con cargas de velocidad periódica.

Continuo. Se le denomina continuo a aquel servicio mediante el cual, trabajando con carga constante, todas las partes del motor eléctrico alcanzan un valor de sobrecalentamiento estacionario. En este caso el tiempo trabajo del motor t_p debe cumplir con la condición: $t_p > 3T_n$.

Temporal. Se le denomina temporal a aquel servicio del motor constituido por períodos alternativos de trabajo y pausa, cumpliéndose que durante el tiempo de trabajo a carga constante el motor no alcanza un calor de sobrecalentamiento estacionario, mientras que durante su período de pausa se enfría hasta la temperatura ambiente. Este tipo de servicio queda caracterizado por las condiciones: $t_p < 3T_n$ y $t_o > 3T_o$ (t_o constante de tiempo de enfriamiento). Para el servicio temporal se recomienda períodos de trabajo de 15, 30, 60 y 90 minutos.

Intermitente periódico. Este tipo de servicio del motor eléctrico, también, se encuentra constituido por períodos alternativos de trabajo y de pausa. Sin embargo, aquí no se alcanza durante el intervalo de trabajo a carga constante el valor estacionario del sobrecalentamiento, ni tampoco durante la pausa el motor se enfría hasta la temperatura ambiente. Esto queda expresado por las condiciones: $T_p \geq 3T_n$ y $T_o \geq 3T_o$. Este tipo de servicio, despreciando el efecto de calentamiento provocado por las pérdidas de arranque, la duración del ciclo no debe ser mayor que 10 min. Este servicio se encuentra caracterizado por el factor de marcha:

$$\varepsilon\% = \frac{t_p}{t_p + t_o} 100 = \frac{t_p}{t_o} 100$$

donde:

t_p - tiempo de trabajo;

t_o - tiempo de pausa;

t_c - tiempo de ciclo.

Los valores normados internacionalmente para el factor de marcha de los motores que trabajan en este tipo de servicio son: 15; 25; 40 y 60% o $\epsilon = t/t_c = 0.15; 0.25; 0.4; \text{ y } 0.6$.

Los servicios antes mencionados constituyen los fundamentales en la actualidad, sobre la base de los cuales se construyen las máquinas eléctricas y sobre esa base se dan los valores nominales que vienen en los catálogos de los motores eléctricos.

Intermitentes con arranques frecuentes. Este servicio se encuentra compuesto por una serie de ciclos idénticos, incluyendo cada uno; un tiempo de arranque, un tiempo en funcionamiento en régimen constante de carga y un tiempo de reposo. Al igual que el intermitente periódico no se alcanza el sobrecalentamiento estacionario durante el intervalo de trabajo ni tampoco la temperatura ambiente durante el tiempo de reposo. La diferencia aquí estriba en que las pérdidas energéticas durante el arranque influyen, significativamente, en el calentamiento del motor.

Este régimen se encuentra caracterizado por el factor de marcha, la cantidad de arranques por horas y el coeficiente de inercia del accionamiento. El factor de marcha se define de igual forma que para el servicio intermitente periódico, lo único que en el tiempo de trabajo se tiene en cuenta la duración del arranque.

El coeficiente de inercia se define como la relación entre el momento de inercia total del accionamiento, referido al eje del motor, con respecto al momento de inercia del motor solamente. Estos coeficientes también se encuentran normados y poseen valores de 1.2; 1.6; 2.5; 4; 6.3; y 10.

Intermitente con arranque y frenaje eléctrico. Este servicio se encuentra compuesto por una serie de ciclos idénticos, incluyendo cada uno; un tiempo de arranque, con tiempo en funcionamiento en régimen constante de carga, con tiempo de frenaje eléctrico rápido y un tiempo de reposo. La diferencia de este régimen con respecto al intermitente periódico se encuentra en que las pérdidas de arranque y de frenaje influyen notablemente en el calentamiento del motor. Al igual que el intermitente periódico este servicio se encuentra caracterizado por que el motor no alcanza el valor estacionario de sobrecalentamiento durante el tiempo de trabajo, ni tampoco se enfría hasta la temperatura ambiente durante la pausa. Aquí en el factor de marcha se debe incluir, también, los tiempos de frenaje y arranque en el tiempo del trabajo del motor.

Continuo, con carga intermitente. Este servicio se encuentra compuesto por una serie de ciclos, en cada servicio uno de los cuales se tiene: un tiempo de funcionamiento en régimen constante de carga y un tiempo de funcionamiento en vacío, cumpliéndose que estos tiempos no son suficiente para que durante el período bajo carga se enlace el sobrecalentamiento estacionario, ni tampoco el motor se enfríe hasta la temperatura ambiente durante su funcionamiento en vacío.

Los motores para este servicio, también, se norman para $\varepsilon\% = 15; 25; 40$ y 60% .

Continuos, con cambios de velocidad periódica. Se encuentran compuesto por una serie de ciclos, incluyendo cada uno; tiempos de arranque, funcionamiento a régimen constante de carga correspondiente a una velocidad de rotación determinada, seguido de uno o más tiempos de funcionamiento a otro régimen de cargas correspondientes a diferentes velocidades de rotación. En este servicio se cumple al igual que en el intermitente periódico lo relativo a la estabilización de la temperatura durante el calentamiento y el enfriamiento del motor.

En este régimen las pérdidas que ocurren cuando se pasa a una velocidad de trabajo a otra influyen, significativamente, en la temperatura del motor.

Los datos necesarios en este servicio son la cantidad de ciclos por hora, el coeficiente de inercia y el factor de marcha. Los valores normados de ciclos por horas son de 30; 60; 120 y 240.

1.3.2 Dispositivos elementales en accionamientos de motores.

El seccionador es un dispositivo de dos posiciones (abierto/cerrado) enclavable y accionado manualmente que proporciona una segregación segura de un circuito cuando está enclavado en la posición abierta. Sus características se definen en IEC 60947-3. Un seccionador no está diseñado para abrir o cerrar el paso de la corriente y en las normas no se indica ningún valor nominal para estas funciones. Sin embargo, debe ser capaz de resistir el paso de corrientes de cortocircuito y se le asigna una capacidad de resistencia nominal de corta duración, por lo general de 12 veces I_n durante 1 s, a menos que el usuario y el fabricante acuerden otra cosa. Esta capacidad suele ser más que suficiente para períodos más largos de sobreintensidades operativas (de valor más bajo), como en el caso del arranque de

motores. También debe superar pruebas estandarizadas de resistencia mecánica, de sobretensión y de corriente de fuga. El esquema eléctrico de este dispositivo se puede apreciar en la figura siguiente.

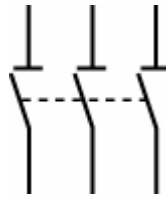


Figura. 1.3 Seccionador

Mientras tanto el interruptor de control se suele accionar manualmente (aunque a veces dispone de disparo eléctrico para mayor comodidad del usuario) y es un dispositivo no automático de dos posiciones (abierto/cerrado), tal como se muestra en el esquema a continuación.

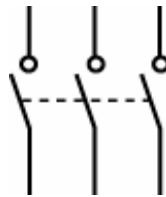


Figura. 1.4 Interruptor bajo carga

Se utiliza para cerrar y abrir circuitos cargados en condiciones normales de circuitos sin defectos.

Por lo tanto, no proporciona ninguna protección a los circuitos que controla.

La norma IEC 60947-3 define:

- La frecuencia de funcionamiento del interruptor (600 ciclos de apertura/cierre por hora, como máximo).
- La resistencia mecánica y eléctrica (por lo general menor que la de un contactor).
- El régimen de conexión y desconexión de corriente para situaciones normales y poco frecuentes.

Cuando se elige un interruptor para poner en tensión un circuito siempre existe la posibilidad de que exista un cortocircuito (insospechado) en el circuito. Por este motivo se asigna a los interruptores bajo carga un índice de conexión de corriente de defecto, es decir, se asegura el cierre correcto frente a las fuerzas electrodinámicas de la corriente de cortocircuito. Tales interruptores se denominan habitualmente interruptores “bajo carga con capacidad de cierre”.

Los dispositivos de protección situados aguas arriba son los encargados de eliminar el defecto de cortocircuito.

La categoría AC-23 incluye una conmutación ocasional de motores individuales. La conmutación de condensadores o lámparas con filamentos de tungsteno está sujeta a acuerdo entre el fabricante y el usuario.

Tabla 1.5 Categorías de utilización de interruptores, seccionadores y conmutadores de baja tensión según IEC 60947-3

Categoría de utilización		Aplicaciones típicas	COS ϕ	Conexión de corriente $\times I_n$	Desconexión de corriente $\times I_n$
Operaciones frecuentes	Operaciones poco frecuentes				
AC-20A	AC-20B	Conexión y desconexión en condiciones sin carga	—	—	—
AC-21A	AC-21B	Conmutación de cargas resistivas, incluidas sobrecargas moderadas	0,95	1,5	1,5
AC-22A	AC-22B	Conmutación de cargas resistivas e inductivas mixtas, incluidas sobrecargas moderadas	0,65	3	3
AC-23A	AC-23B	Conmutación de cargas de motor u otras cargas altamente inductivas	0,45 para $I \leq 100 \text{ A}$ 0,35 para $I > 100 \text{ A}$	10	8

Las categorías de utilización mencionadas en la anterior no son aplicables a los equipos utilizados normalmente para arrancar, acelerar y/o para motores individuales.

El interruptor biestable se utiliza extensamente para el control de circuitos de iluminación, en los que al presionar un pulsador (en una posición de control remota), se abre un interruptor ya cerrado o se cierra un interruptor abierto en una secuencia biestable.

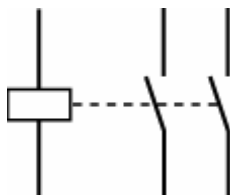


Figura. 1.5 Telerruptor (interruptor biestable)

Las aplicaciones típicas son:

- Conmutación de dos vías en escaleras de edificios grandes.
- Sistemas de iluminación de escenarios.
- Iluminación de fábricas, etc.

Hay disponibles dispositivos auxiliares que proporcionan:

- Indicación remota de su estado en cualquier momento.
- Funciones de temporización.
- Funciones de mantenimiento de contacto.

El contactor es un dispositivo de conmutación accionado por solenoide que por lo general se mantiene cerrado mediante una corriente (reducida) que pasa a través del solenoide de cierre (aunque existen diversos tipos con enclavamiento mecánico para aplicaciones específicas).

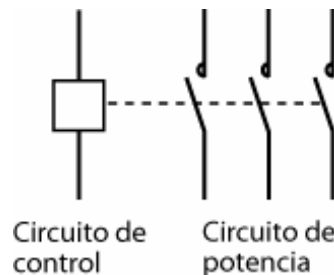


Figura. 1.6 Contactor magnético

Los contactores están diseñados para realizar numerosos ciclos de apertura/cierre y se suelen controlar de forma remota por medio de pulsadores de activación/desactivación, como se muestra en el esquema anterior.

El elevado número de ciclos de funcionamiento repetitivos está estandarizado en la tabla VIII de la IEC 60947-4-1 según:

- La duración de funcionamiento: 8 h, ininterrumpido, intermitente o temporal de 3 min, 10 min, 30 min, 60 min y 90 min.
- La categoría de utilización: por ejemplo, un contactor de la categoría AC3 se puede usar para arrancar y para el motor de un ascensor.
- Los ciclos de arranque/parada (de 1 a 1 200 ciclos por hora).
- La resistencia mecánica (número de operaciones de descarga).
- La resistencia eléctrica (número de operaciones de carga).

- Un rendimiento nominal de conexión y desconexión de corriente de acuerdo con la categoría de utilización en cuestión.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los requisitos de resistencia a las corrientes de sobrecarga.

Tabla 1. 6 Capacidad mínima de contactores para soportar corrientes de sobrecarga.

Corriente de servicio asignada	Corriente de ensayo	Duración del ensayo
≤ 630 A	8 x $I_{em\acute{a}x.}/AC3$	10 s
≥ 630 A	6 x $I_{em\acute{a}x.}/AC3^*$	10 s
*Con un valor mínimo de 5 kA Ver en catálogos del fabricante el poder de corte y de cierre. Debe tenerse en cuenta estos valores si se utilizan contactores para conectar capacitares o transformadores secos de BT		

Arrancador (contactor + relé térmico)

Un contactor equipado con un relé de tipo térmico que aporta protección contra sobrecargas. Este dispositivo no es el equivalente a un interruptor automático, puesto que su capacidad de desconexión de corriente de cortocircuito está limitada a 8 In. Por lo tanto, para aportar protección contra cortocircuitos es necesario incluir fusibles o un interruptor automático en serie con los contactos del arrancador y aguas arriba de los mismos.

Relés Térmicos.

Su límite térmico es igual a $10 \cdot I_{th}$. Entre 10 y 12 veces este valor tiene que operar la protección instantánea del circuito.

Dado el hecho que existen ocho clases de curvas de disparo de los relees de sobrecarga térmicos debe especificarse el tipo de curva para cada caso. De no hacerse se establece la clase 10 de disparo como curva predeterminada, pues es la que corresponde a un arranque normal con un tiempo de disparo entre 4 y 10 segundos.

1.4 Normas de selección de protecciones para baja tensión.

Las normas definen la manera en que se deben diseñar, montar y explotar, los circuitos eléctricos de las instalaciones de baja tensión y las funciones y limitaciones de los diversos dispositivos de conmutación, denominados dispositivos de protección

Las funciones principales de los dispositivos de protección son:

- Protección eléctrica.
- Conmutación local o remota.

Estas funciones se resumen a continuación.

Protección eléctrica contra:

- Corrientes de sobrecarga
- Corriente de cortocircuito
- Defecto de aislamiento

Además de las funciones mencionadas anteriormente, se realizan otras funciones, a saber:

- Protección contra las sobretensiones.
- La protección contra tensión mínima, realizada por relés asociados a interruptores automáticos controlados de forma remota o local.

Protección eléctrica

La protección eléctrica de BT (aparte de los fusibles) normalmente se incorpora en los interruptores automáticos en forma de dispositivos magnetotérmicos, electrónicos y/o dispositivos de disparo accionados por corriente residual.

El objetivo es evitar o limitar las consecuencias destructivas o peligrosas de las corrientes excesivas (cortocircuitos) o causadas por sobrecargas y defectos de aislamiento, así como seccionar el circuito defectuoso del resto de la instalación.

Se hace una distinción entre protección de:

- Los elementos de la instalación (cables, alambres, dispositivos de protección y seccionamiento).
- Personas y animales.
- Equipamiento suministrado por la instalación.
- La protección de circuitos:

- Contra sobrecargas: una situación en la que se limita una corriente excesiva de una instalación en buen estado (sin defectos).
- Contra corrientes de cortocircuitos causadas por el defecto completo del aislamiento entre los conductores de diferentes fases o (en los sistemas TN) una fase y un conductor neutro (o PE).

En estos casos la protección la proporcionan fusibles o interruptores automáticos en el cuadro de distribución en el que se origina el circuito final (es decir, el circuito al que está conectada la carga). En la siguiente tabla se muestran los rangos de operación de fusibles para baja tensión tipo gG y gM.

**Tabla 1.7 Zonas de operación de los fusibles de baja tensión de tipo gG y gM
(IEC 60269-1 e IEC 60269-2-1)**

<u>Corriente nominal (1)</u>	<u>Corriente infusible</u>	<u>Corriente fusible</u>	<u>Tiempo máximo</u>
<u>I_n (A).</u>	<u>convencional</u>	<u>convencional</u>	<u>convencional</u>
I_n	I_{nf}	I_f ó I_2	(h)
$I_n \leq 4 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1
$4 < I_n \leq 16 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400 \text{ A}$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3

- La protección de personas:
 - Contra defectos de aislamiento. Según el esquema de puesta a tierra de la instalación. La protección la proporcionan fusibles o interruptores automáticos, dispositivos de corriente residual y/o una supervisión permanente de la resistencia de aislamiento de la instalación a tierra.
- La protección de motores eléctricos:
 - Contra sobrecalentamiento, causado, por ejemplo, por una sobrecarga a largo plazo, un rotor bloqueado, operación monofásica, etc. Se utilizan relés térmicos, diseñados especialmente para adaptarse a las características concretas de los motores. Si es

necesario, estos relés también pueden proteger el cable del circuito del motor contra sobrecargas. La protección contra cortocircuitos la proporcionan fusibles aM o un interruptor automático del que se ha retirado el elemento protector térmico (sobrecarga), o en el que se ha desactivado este elemento. También puede darse protección contra sobrecalentamiento mediante el uso de relés termométricos de termo resistencias.

1.4.1 Selección de interruptores automáticos.

A la hora de elegir un interruptor automático deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1- Características eléctricas de la instalación en la que se utilizará el interruptor automático.
- 2- Su entorno previsto: temperatura ambiente, en una cabina o una envolvente de cuadro de distribución, condiciones climáticas, etc.
- 3- Requisitos de conexión y desconexión de la corriente de cortocircuito.
- 4- Especificaciones operativas: disparo selectivo, requisitos (o no) de control remoto e indicación, contactos y bobinas de disparo auxiliares, conexiones, etc.
- 5- Normas de instalación, en particular: protección de las personas.
- 6- Características de la carga, como motores, iluminación fluorescente, transformadores de baja tensión/baja tensión.

Desde el punto de vista de la corriente se deben considerar dos factores en la selección de los interruptores:

*La corriente máxima instantánea que el interruptor debe soportar.

Esta corriente contiene además de la componente simétrica, una Componente asimétrica (CD), a esta corriente se le conoce como corriente momentánea y por mucho tiempo los interruptores se especificaban en base a esta.

Segundo:

*La corriente total cuando los contactos del interruptor inician la apertura para interrumpir el circuito. Esta corriente define la capacidad interruptiva y depende de la “velocidad” del interruptor. Esta “velocidad” puede definirse como el tiempo transcurrido entre la ocurrencia de la falla y la extinción total del arco eléctrico. El tiempo de interrupción nominal de un interruptor es el período entre el instante de energización del circuito de disparo y la extinción del arco en una maniobra de apertura.

La corriente que el dispositivo debe interrumpir es asimétrica, ya que todavía contiene una componente de directa decadente.

En la actualidad, por lo general se especifica la capacidad interruptiva en términos de la componente simétrica de la corriente. El fabricante de los interruptores toma en cuenta la Componente de CD en el diseño de estos.

1.5 Fundamentos generales acerca de la selección del número y potencia de los transformadores de fuerza.

La selección del número y potencia de los transformadores para la alimentación de cargas industriales se realiza según las consideraciones siguientes:

1- Se determina el número de transformadores de la sub-estación partiendo del aseguramiento de la confiabilidad de la alimentación, teniendo en cuenta las categorías de los consumidores.

2- Se proponen las variantes posibles de potencia de los transformadores teniendo en cuenta su carga admisible en régimen normal y sobrecarga permisible en régimen de emergencia o de falla.

3- Se determina la solución económicamente útil de las variantes propuestas, admisibles para las condiciones concretas dadas por las fórmulas $\Delta P'_T = a + b * S_c^2$,

$$S_{cA} = \sqrt{(a_2 - a_1)/(b_1 - b_2)}, \Delta P_r = a_{n+1} + (b_{\Sigma+1} - b_{\Sigma}) * S_c^2. \text{ [Feodorov 1987].} \quad (1.9)$$

4- Se calcula la posibilidad de ampliación de la subestación y se resuelve el problema acerca de la posible instalación de transformadores de mayor potencia sobre la misma base o se prevee la posibilidad de ampliación de la subestación a través del incremento del número de transformadores.

1.5.1 Selección de la potencia de los transformadores.

En los sistemas industriales de suministro eléctrico la potencia de los transformadores debe garantizar, en condiciones normales, la alimentación de todos los consumidores o receptores. En la selección de la potencia de los transformadores se debe tratar de obtener tanto el régimen de trabajo económicamente útil, como la alimentación de reserva explícita e implícita de los consumidores; además la carga de los transformadores, en condiciones normales, no debe (por calentamiento) conducir al acortamiento de su tiempo de vida o servicio.

Selección de potencia de los transformadores teniendo en cuenta la sobrecarga.

La potencia de los transformadores es conveniente seleccionarla teniendo en cuenta su capacidad de sobrecarga. El no prestar atención a la capacidad de sobrecarga del transformador significa depender innecesariamente de la capacidad nominal. Esta capacidad de sobrecarga se determina en dependencia del gráfico de carga del transformador en cuestión. En las condiciones de explotación se admiten las sobrecargas: de emergencia y sistemática.

Sobrecargas de emergencia.

Para transformadores con sistemas de enfriamiento se puede admitir (aparte de la dependencia de duración de la carga precedente, temperatura del medio refrigerante y localización del transformador) una sobrecarga de corta duración en correspondencia con la curva representada en la figura 1.7a. En aquellos casos en que la carga del transformador, antes la sobrecarga de emergencia no sobrepase el 0.93 de potencia de chapa, éste puede ser sobrecargado durante cinco días en un 40%. Sin embargo la duración de la sobrecarga no deberá exceder de 6 horas cada día, ya sea en forma consecutiva o a intervalos.

Para transformadores secos se admite la sobrecarga de corta duración determinada según las curvas de la figura 1.7b.

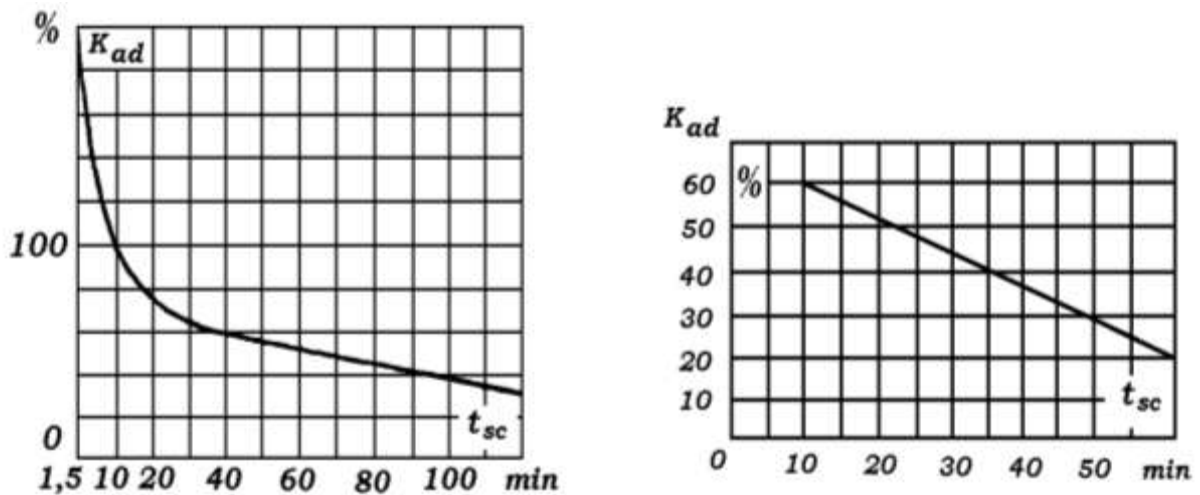


Figura. 1.7 Curva para la determinación de la sobrecarga de emergencia admisible, en dependencia de ésta: a) transformador con enfriamiento oleaginoso; b) transformador seco.

Sobrecarga sistemática.

La capacidad de sobrecarga de un transformador depende de las particularidades del gráfico de carga, el cual está caracterizado por el coeficiente de llenado de éste:

$$K_{11} = S_{media} / S_m \quad (1.10)$$

Teniendo la magnitud de la duración de la máxima carga T_{dm} , por la curva de la figura 1.8a, se puede determinar la sobrecarga permisible, la cual puede soportar el transformador cada día durante las horas de su máxima carga. Los transformadores secos pueden ser sobrecargados según las curvas de la figura 1.8b. La sobrecarga admisible de un transformador puede ser determinada mediante la fórmula:

$$S_{ap} = S_n (1 - K_{11}) * 0.3$$

Donde:

S_{ap} = carga adicional permisible del transformador durante la horas máxima de carga, superior a la nominal debido a la utilización incompleta del transformador durante el resto del día, kVA.

Pueden ser admitidas sobrecargas adicionales en los casos en que exista marcada diferencia, en el gráfico anual de carga, entre la carga del verano e invierno. En países tropicales ello no tiene mayor significación.

En cualquier caso, la sobrecarga total no debe exceder el 30%:

$$S_{p\Sigma} \leq 1.3S_n$$

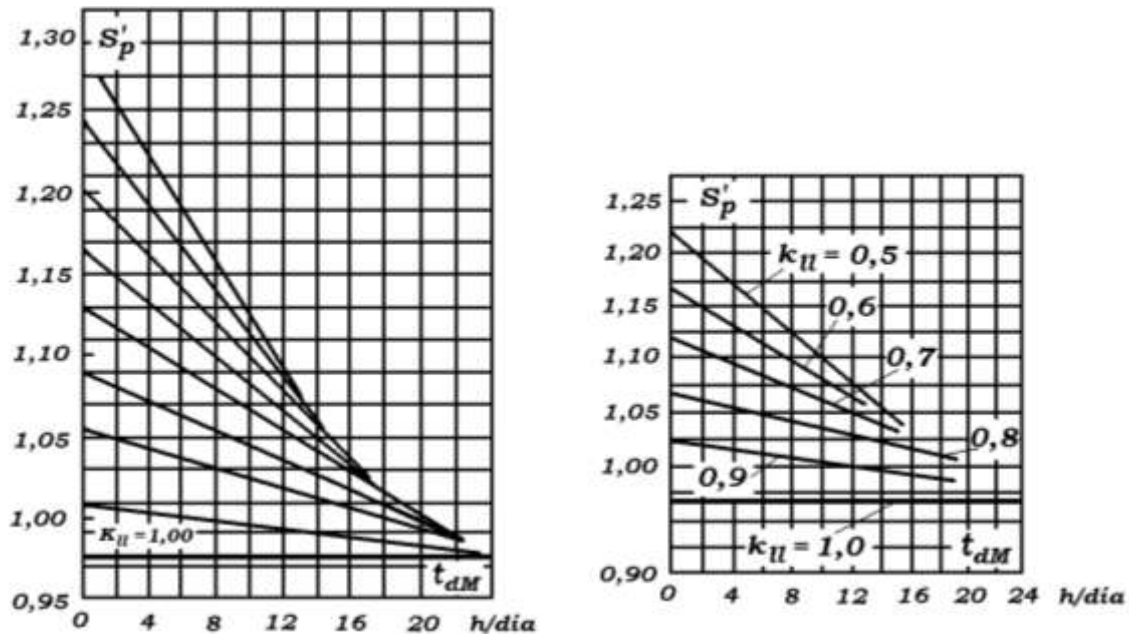


Figura. 1.8 Curvas para sobrecarga sistemática admisibles. a) transformador sumergido en aceite. b) transformador seco.

1.5.2 Selección de trabajo económico de los transformadores.

En las condiciones de operación se debe prever el régimen de trabajo económico de los transformadores, la esencia del cual estriba en que, en subestaciones con varios transformadores, el número de transformadores conectados en cada momento debe ser el que proporcione el mínimo pérdidas, para un gráfico de carga determinado. Para ello debe ser consideradas solamente las pérdidas de potencia activa en los propios transformadores, sino también las pérdidas de potencia activa que aparecen en el sistema, (desde los generadores hasta la subestación considerada) debido a los requerimientos de potencia reactiva de los transformadores. A diferencia de las pérdidas del propio transformador, a éstas se les denomina referidas y se le determinan por la expresión:

$$\Delta P'_t = \Delta P'_{sc} + K^2_c \Delta P'_{cc}, \text{ kW} \quad (1.11)$$

Donde:

$\Delta P'_{sc} = \Delta P_{sc} + K_{jp} \Delta Q_{sc}$ = pérdidas referidas del transformador sin carga, las cuales toman en cuenta las pérdidas de potencia activa tanto del transformador como las creadas por los

elementos del sistema por la potencia reactiva demandada por el mencionado transformador, kW;

$$\Delta P'_{cc} = \Delta P_{cc} + K_{jp} \Delta Q_{cc} = \text{análogamente, pérdidas referidas cortocircuito en kW};$$

ΔP_{sc} = pérdidas de potencia, sin carga (en los cálculos se toman aproximadamente iguales a las pérdidas de núcleo del transformador), kW;

ΔP_{cc} = pérdidas de potencia, de cortocircuito (pérdidas de cobre), kW;

K_{jp} = coeficiente incremental de pérdidas kW/kVAr;

$K_c = S_c / S_n$ coeficiente de carga;

S_c = carga real del transformador (o de cálculo), kVA;

S_n = potencia nominal (de chapa) del transformador, kVA;

$\Delta Q_{sc} = S_n (I_{sc} \%100)$ potencia reactiva del transformador sin carga, kVAr;

$\Delta Q_{cc} = S_n (V_{cc} \%100)$ potencia reactiva demandada por el transformador a plena carga, kVAr;

I_{sc} = corriente del transformador sin carga;

V_{cc} = Voltaje de cortocircuito del transformador.

1.6 Método de cálculo para las pérdidas por transformación.

Las pérdidas totales se calculan empleando la siguiente ecuación:

$$Pt = pfe * T3 + (kVAr / kVAn)^2 * pcu * T1 ; \quad (1.12)$$

Pt = pérdidas totales que se producen en el transformador.

pfe = pérdidas de hierro.

$T3$ = tiempo en horas en que está energizado el transformador (720 horas/mes)

Pcu = pérdidas de cobre

$T1$ = Tiempo de trabajo: Ejemplo: un turno (200hrs / mes), dos turnos (400hrs / mes), 3 turnos (720hrs / mes)

$$kVA_{real} = \frac{\text{Consumo mensual (kWh)}}{T1 * \text{Factor de potencia}} = kVA_{reales}$$

$kVAn$ = kVA nominales del banco de transformadores

1.7 Conclusiones del Capítulo I.

En el capítulo se recogen los fundamentos teóricos necesarios que sirven de base a los posteriores capítulos. Se abordan los elementos fundamentales para la selección de conductores y demás dispositivos de las redes de distribución a baja tensión, así como la teoría general de máquinas eléctricas y de dispositivos presentes en accionamientos con este tipo de motores.

Capítulo II. Sistema eléctrico de la Instalación.

2.1 Introducción.

Para el estudio integral del esquema eléctrico del Centro de Investigaciones Siderúrgicas, en este capítulo se exponen las diferentes tareas que se realizan; primeramente se describe el suministro eléctrico con que cuenta la entidad, así como la descripción de la instalación objeto de estudio. Seguidamente en los epígrafes que le siguen, se detalla el estado actual de los principales paneles eléctricos del esquema en su conjunto, desglosado por los nodos principales (panel principal, cuarto de control y planta de carbón), estado de los conductores eléctricos y el estado de los dispositivos de protección. Posteriormente está el levantamiento de todas las cargas instaladas con su correspondiente estudio del comportamiento de los parámetros eléctricos principales, así como la determinación de las pérdidas de transformación y la actualización del monolineal de la empresa.

2.2 Caracterización de la instalación objeto de estudio

Nuestra institución se encuentra localizada en la zona minera metalúrgica de Nicaro. La misma está formada por un colectivo de un alto nivel técnico – profesional. Posee actualmente una plantilla general de 119 trabajadores de los cuales 32 son técnicos superiores, de los cuales 8 poseen categoría de investigadores, 33 son técnicos medios y 63 obreros calificados

El Centro de Investigaciones siderúrgicas desde su inicio se dedica a las investigaciones y desarrollo del sector siderúrgico en el país, proceso que se detiene al desintegrarse el campo socialista y la Unión Soviética, aunque se sigue las investigaciones pero en menor medida y no es hasta 1990 que se construye la planta de molienda del carbón antracita, donde se abren nuevos proyectos de investigación con el objetivo de lograr otras aplicaciones del carbón en el país a parte de su introducción en la industria del níquel y la fábrica de acumuladores de manzanillo.

Dedicado a la investigación y producción, comienza a sufrir cambios en el sistema eléctrico. Por lo que se hace necesario el estudio integral de la instalación, teniendo en cuenta que en sus inicios fue diseñada para cargas diferente con la que no contamos en la actualidad. Como nodos principales tenemos la Planta de Carbón, que hoy en día consume el 52% de la

energía eléctrica en el proceso de secado del carbón. El resto del consumo, para las investigaciones, para el taller de maquinado, y oficinas del centro.

2.3 Sistema de Suministro Eléctrico.

En la entidad, el sistema de suministro eléctrico está constituido por una red trifásica que alimenta 33 kV a la subestación transformadora. La energía eléctrica en la entidad está garantizada mediante un transformador trifásico con las siguientes características:

- Potencia nominal, 1MVA;
- grupo de conexión, delta – estrella con neutro aterrado;
- frecuencia, 60Hz;
- tensión nominal en el primario, 34.5 kV;
- tensión nominal del secundario, 480 V;
- tensión de fase del secundario, 277 V;
- corriente nominal del secundario, 1 204.23 A.

En la salida del transformador existe un banco de condensadores automático encargado de la compensación global de la potencia reactiva, cuya capacidad es de 210 kVAr y ayuda a mantener el factor de potencia en 0.99.

El esquema posee gran cantidad de equipos desconectivos (principalmente interruptores automáticos de caja moldeada), el mismo fue diseñado para equipos de gran potencia. Dicho esquema es característico para consumidores de segunda y tercera categoría.

La energía eléctrica que se suministra llega hasta el panel principal de la subestación que domina toda la carga conectada que se encuentra en la barra principal. A partir del interruptor general (Q0) de la barra, se conectan seis interruptores para el total de los dispositivos desconectivos con que cuenta dicho panel; sólo tres tienen cargas conectadas que representan el total de los consumidores. Uno de los interruptores conecta a la planta de producción (Q2), el otro al Horno de arco eléctrico (Q3), y el restante a un cuarto de pizarras (Q1) que abastece al resto de los consumidores (Economía, Comercial, Recursos Humanos, Transporte e investigaciones.)

2.3.1 Estado de los principales paneles eléctricos. Principales problemas.

A continuación se describe el estado actual de los principales paneles con que cuenta el esquema eléctrico del centro. Cada nodo principal está identificado con su nombre, en el monolineal que se encuentra en el anexo 1.

Panel principal del esquema eléctrico de la entidad.

El panel principal se encuentra a ocho metros del transformador principal. El mismo tiene un interruptor general que domina a otros seis como se muestra en el esquema físico del mismo (Figura. 2.1). De siete disyuntores que contiene el panel, sólo cuatro se utilizan; el general, el cuarto de control, el horno de arco eléctrico y planta de carbón.

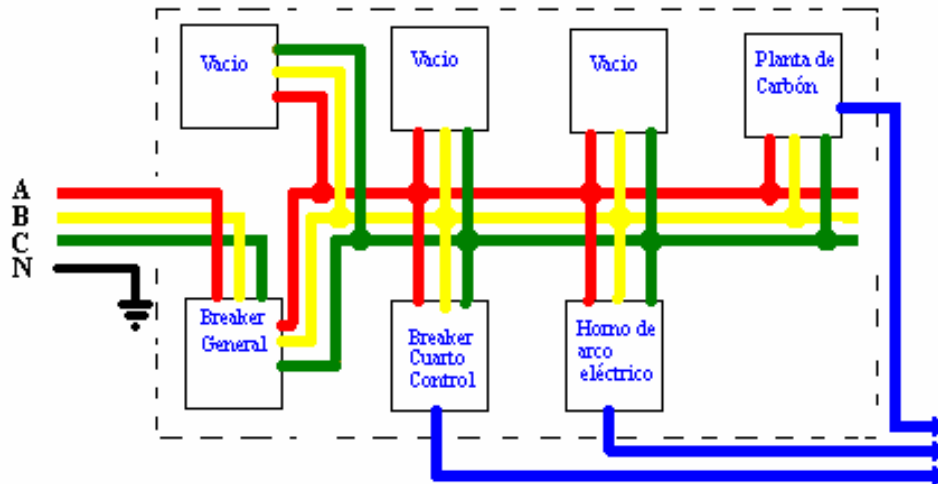


Figura. 2.1. Panel principal del centro.

El estado del panel principal no es bueno, ya que en el mismo se encuentran una serie de problemas que atentan contra la seguridad integral del sistema eléctrico, como son:

- 1- El interruptor principal está roto.**
- 2- Las líneas soterradas están sumergidas en el agua cuando llueve, y existe mucha humedad en el período seco.**
- 3- Los instrumentos de mediciones no están actos para el uso (tanto los voltímetros como los amperímetros).**
- 4- Existen conductores con deterioro en el aislamiento.**

Planta de Carbón

El panel eléctrico de planta de carbón se alimenta de una pizarra que se encuentra en el panel principal, el mismo está situado a unos cien metros de donde se conecta. Dicha instalación como las demás ramas del circuito presenta problemas que se han de solucionar, que a continuación describimos:

- 1- *Las pizarras eléctricas se encuentra en un lugar donde se mojan en tiempo de lluvia.*
- 2- *Existe poca hermeticidad en las pizarras y producto a la contaminación que están expuestas, se dañan los contactores magnéticos con mayor frecuencia de lo normal.*
- 3- *Los conductores eléctricos están desordenados.*

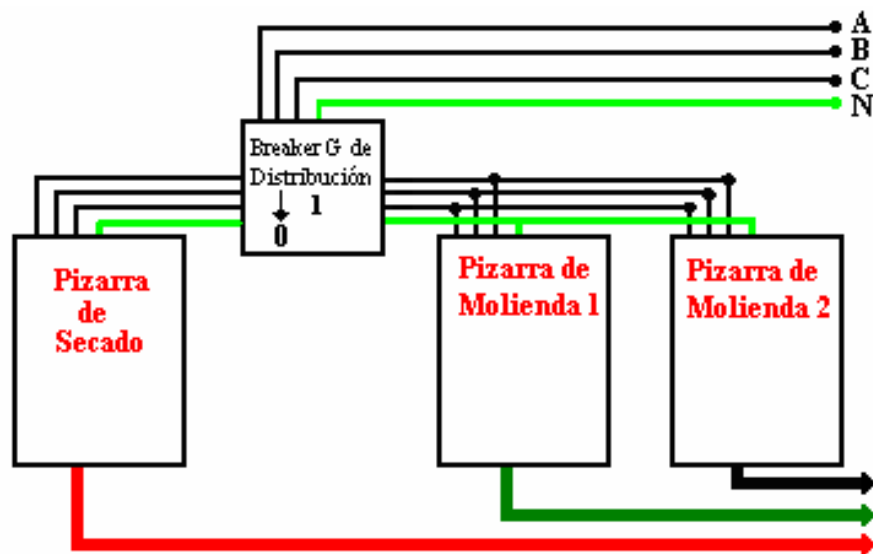


Figura. 2.3 Distribución en Planta de Carbón.

2.4 Estado de los dispositivos de protección.

Los breakers distribuidos por las instalaciones están sobredimensionados, muchos son los mismos que se instalaron cuando la creación de la planta y hoy no llevan la carga de entonces.

Los valores nominales oscilan entre los 15 y 80 amperes.

En su mayoría no es identificable la carga asociada a estos, lo que requiere de la señalización de las mismas.

2.6 Levantamiento de cargas instaladas.

El fundamento de la solución racional de los problemas técnicos-económicos en el estudio del esquema eléctrico de la entidad, se encuentra en las cargas instaladas. En el centro se realiza el levantamiento de todas las cargas instaladas (como se muestra en la figura siguiente), y todos los datos obtenidos se encuentran en el anexo número 4. Se puede observar que la potencia instalada en la entidad se caracteriza por el predominio de motores eléctricos y equipos de refrigeración, es de destacar que no se ha incluido el Horno de Arco Eléctrico, pues su empleo es muy esporádico.

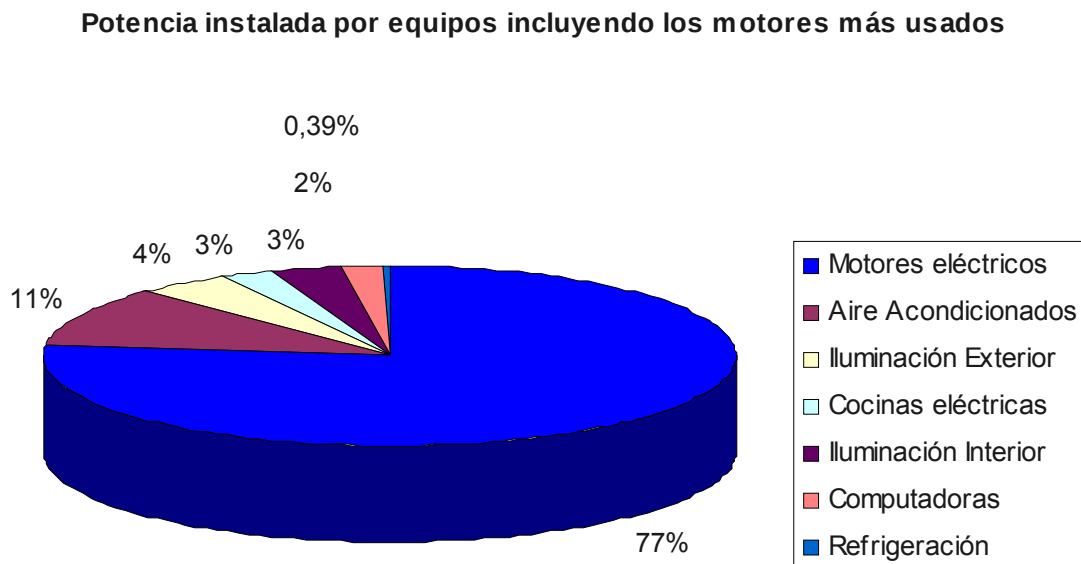


Figura. 2.4 Distribución de carga de la instalación.

En la siguiente tabla se realiza la identificación de los principales consumidores individuales de segunda categoría de la planta de producción. Las demás áreas se pueden apreciar en el anexo 5.

Tabla 2.1 Clasificación de los consumidores de energía eléctrica por categoría, en el área de producción.

	PLANTA DE PRODUCCIÓN	
	Equipos	Potencia real (kVA)
SEGUNDA CATEGORÍA: Receptores en los que la interrupción del suministro implica una apreciable reducción de la producción, inactividad del personal.	<i>Transp. de banda de 600 mm.</i>	7802
	<i>Transp. de banda portátil carbón insuflado.</i>	5128
	<i>Transp. de banda portátil carbón coque.</i>	5128
	<i>Transp. de banda caliente.</i>	3090
	<i>Transp. de banda de la zaranda.</i>	5128
	<i>Transp. de banda de rechazo.</i>	5128
	<i>Transp. Sinfin</i>	5128
	<i>Spfidder.</i>	3090
	<i>Secadero.</i>	6160
	<i>Quemador.</i>	611
	<i>Bomba de diesel</i>	3090
	<i>Compresor Nuevo</i>	15800
	<i>Máquina de soldar</i>	12000
	<i>Aire secundario del quemador</i>	6200
	<i>CMD 27 # 3 Inv. 1113</i>	6200
	<i>Motor del cono</i>	24700
	<i>Bomba de aceite del cono</i>	3098
	<i>Extractor de gases</i>	14000
	<i>Máquina de coser manzanillo.</i>	916

2.7 Principales magnitudes eléctricas de la instalación.

Se llevaron a cabo diferentes mediciones en los nodos principales del centro (Cuarto de Control, Planta de Carbón y en el Horno de Arco Eléctrico), los cuales son los más representativos. A partir de dichas mediciones se permite obtener un comportamiento real de los parámetros eléctricos, necesarios para cumplimentar el desarrollo de éste trabajo. Las lecturas registradas por el instrumento de medición se encuentran en el anexo 4.

A continuación les preceden los epígrafes que dan una información más detallada de las mediciones realizadas en los nodos antes mencionados.

2.7.1 Comportamiento de las variables eléctricas en el horno de arco eléctrico.

Se realizaron tres mediciones eléctricas durante las pruebas de fusión, estas mediciones no abarcaron todo el período de las pruebas pero permiten obtener un comportamiento real de los parámetros eléctricos del horno. En este trabajo se presentan las magnitudes de la

medición de la prueba de fusión # 2 por ser la más representativa. Las mediciones necesariamente se realizaron en el interruptor principal del armario eléctrico del horno. No se pudieron tomar las mediciones a la entrada de cada electrodo debido a que durante mediciones puntuales realizadas, la corriente en este punto superaba los 1 000 A llegando en ocasiones hasta los 1 200 A lo cual atentaba contra las características constructivas del equipo de medición cuyos rangos máximos de medida son de 1000 Amperes y 600 Volt.

Mediciones realizadas en el horno de arco eléctrico durante la prueba de fusión # 2.

A continuación mostramos los resultados de la medición de las principales variables eléctricas registradas por el instrumento de medición, las cuales se concretan en, Tensiones en cada una de las fases, Corrientes por cada una de las fases, Potencia Aparente total S (kVA), Potencia Activa P(kW), Potencia Reactiva Q (kVAr), Factor de potencia y frecuencia de la red.

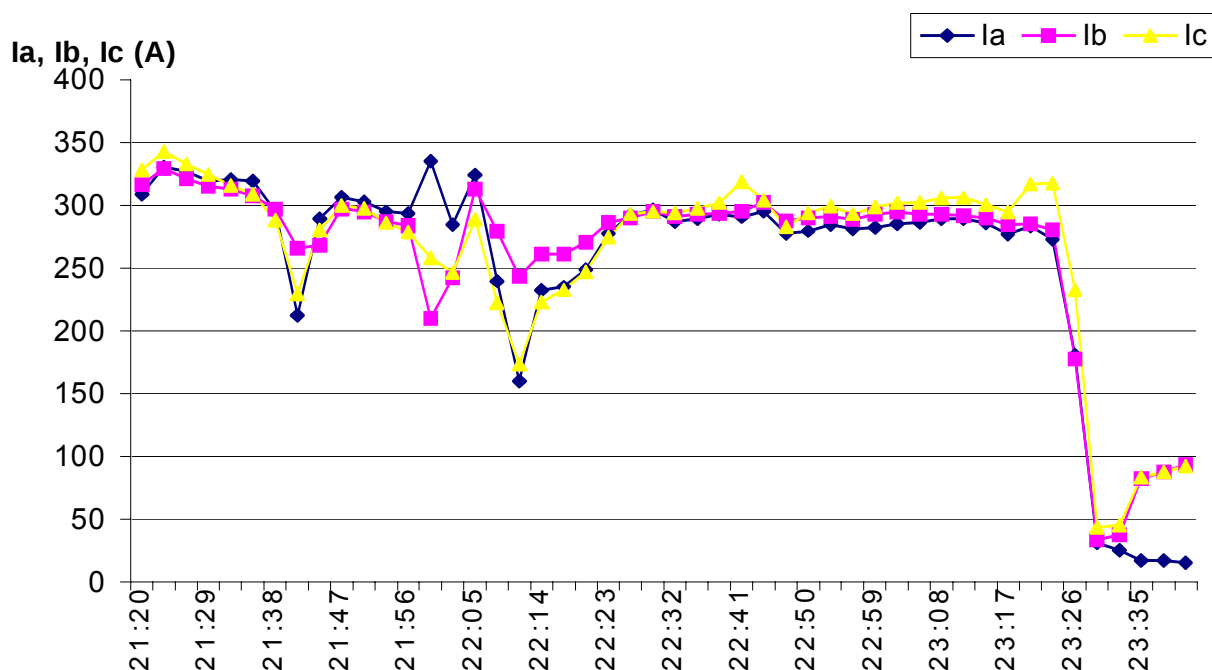


Figura. 2.5 Comportamiento de las corrientes de fase en el interruptor principal del H.A.E

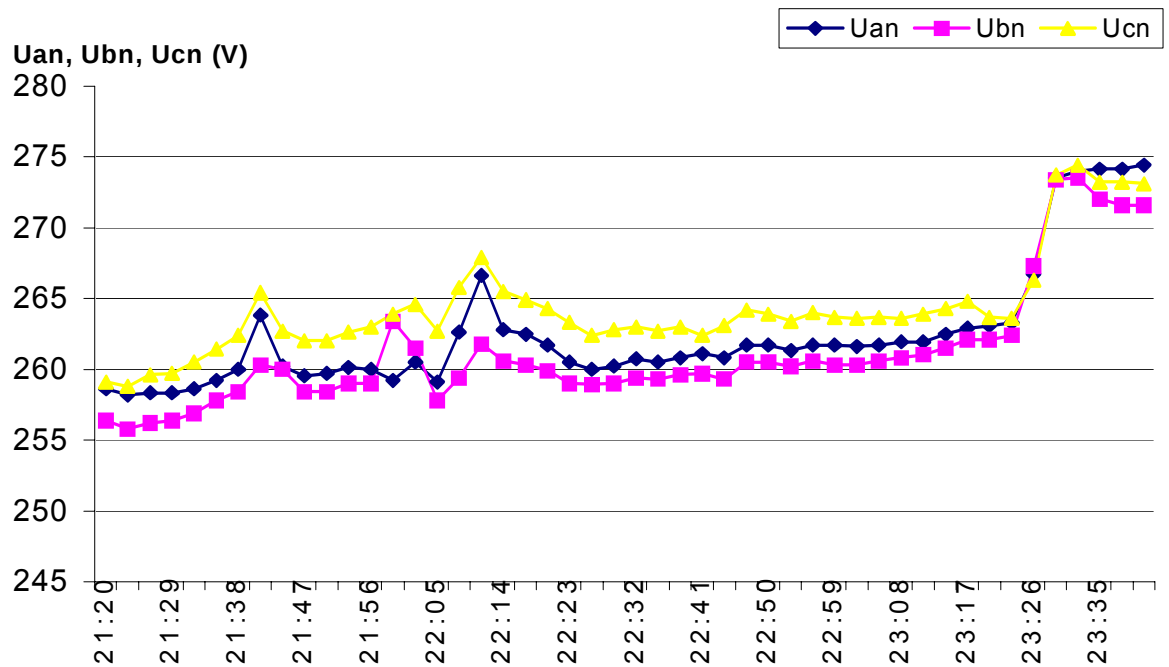


Figura. 2.6 Comportamiento de las tensiones de fase en el interruptor principal del H.A.E.

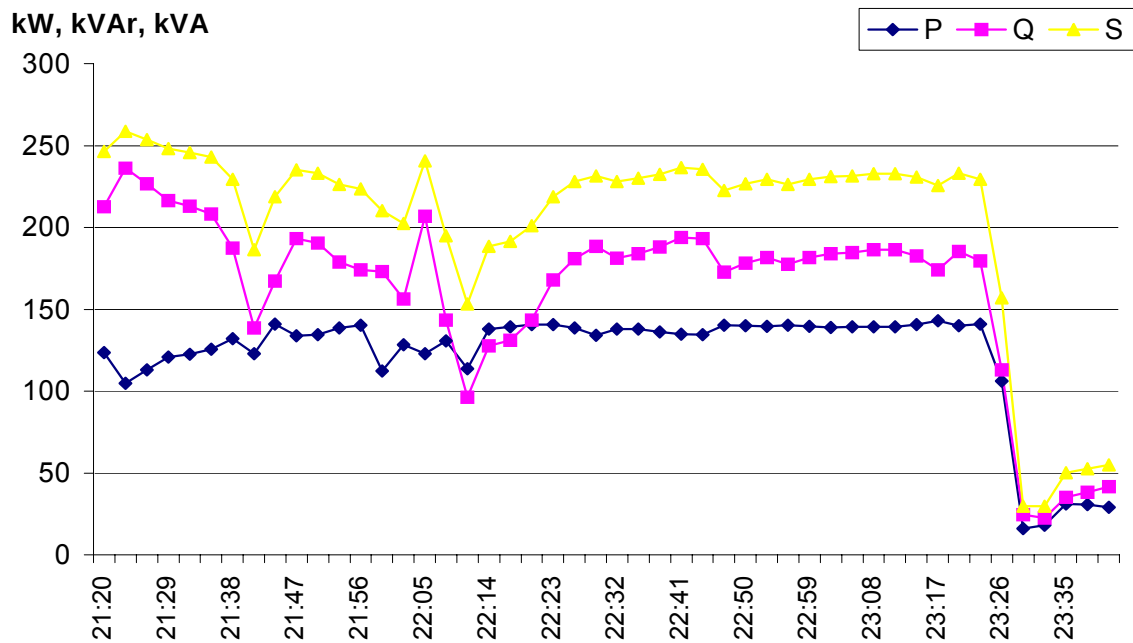


Figura. 2.7 Comportamiento de las potencias totales el interruptor principal del H.A.E

Resumen del análisis de las mediciones.

- *El período de estabilidad de la fusión fue desde las 22:23 hasta las 23:23 del 21.06.03. En este período de tiempo solo la operación que se realizó fue la de añadir manualmente calcina al horno.*
- *En el período entre las 21:20 hasta las 22:23 se pueden observar fluctuaciones de los parámetros eléctricos dados por la ocurrencia de los siguientes fenómenos: se sangra la escoria, se carga el horno con calcina, se fue el tapón de la escoria y esta sangra nuevamente.*
- *En el período de estabilidad todos los parámetros eléctricos del horno se mantienen con unas variaciones muy pequeñas (ver los gráficos de las variables).*
- *Los valores medios de las variables eléctricas durante la fusión se comportaron de la siguiente manera: Tensión 262,62 V; Corriente 260,65 A; Potencia Aparente 204,71 kVA; Potencia Activa 121,36 kW; Potencia reactiva 163,05 kVAr; Factor de Potencia 0,59 y frecuencia de la red 59,96 Hz.*
- *Se observó un constante consumo de energía reactiva superior a la activa perjudicial para el equipo.*
- *El tiempo de medición eléctrica fue de **2 horas con 21 minutos**.*
- *Frecuencia de muestreo: **3 Minutos**.*
- *En el período de la medición se consumieron 491,295 kVA de potencia aparente, como promedio unos 204,706 kVAh el valor pico fue de 258.731 kVA y se produjo a las 21:23.*
- *En el período de la medición se consumieron 291,274 kW de potencia activa, como promedio unos 121,364 kWh el valor pico fue de 142,840 kW y se produjo a las 23:17.*

En el período de la medición se consumieron 391,323 kVAr de potencia reactiva, como promedio unos 163,051 kVArh el valor pico fue de 236,214 kVAr y se produjo a las 21:23.

2.7.2 Comportamiento de las variables eléctricas en el Cuarto de Control.

En este nodo se muestran los resultados de las mediciones efectuadas en el Cuarto de Control de la entidad; donde en ellas se registran los valores de la corriente, de la tensión por fase respectivamente y potencia aparente total.

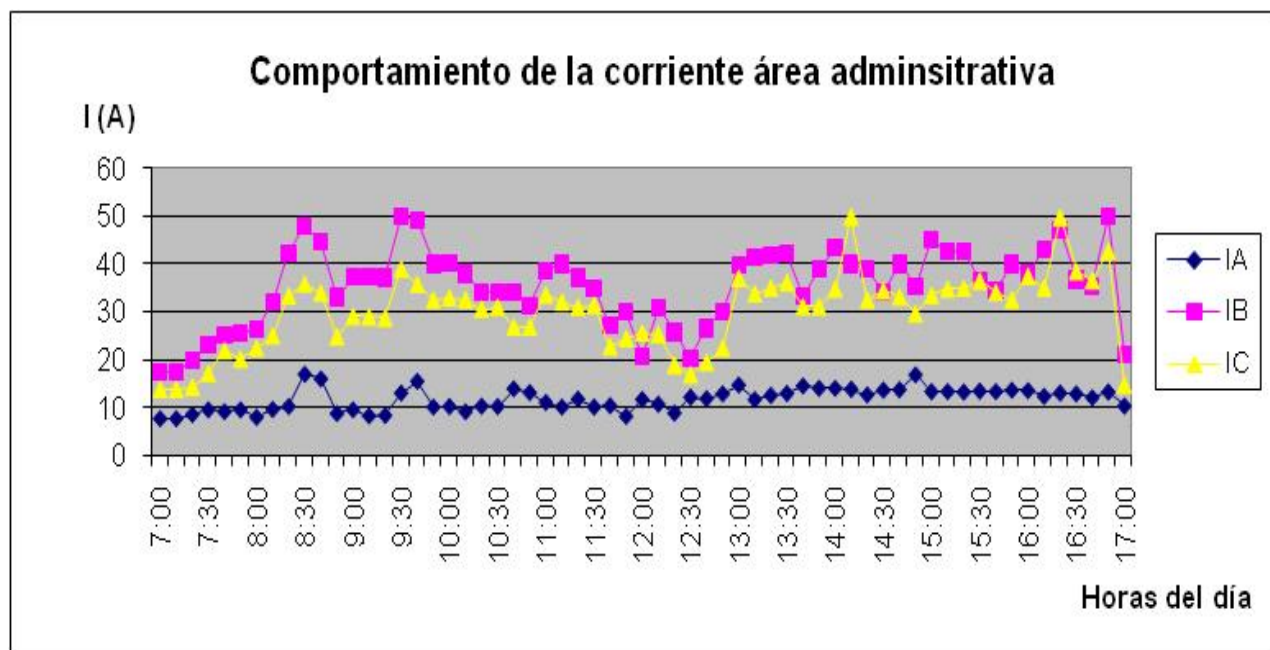


Figura 2.8 Corrientes por fases en el área administrativa.

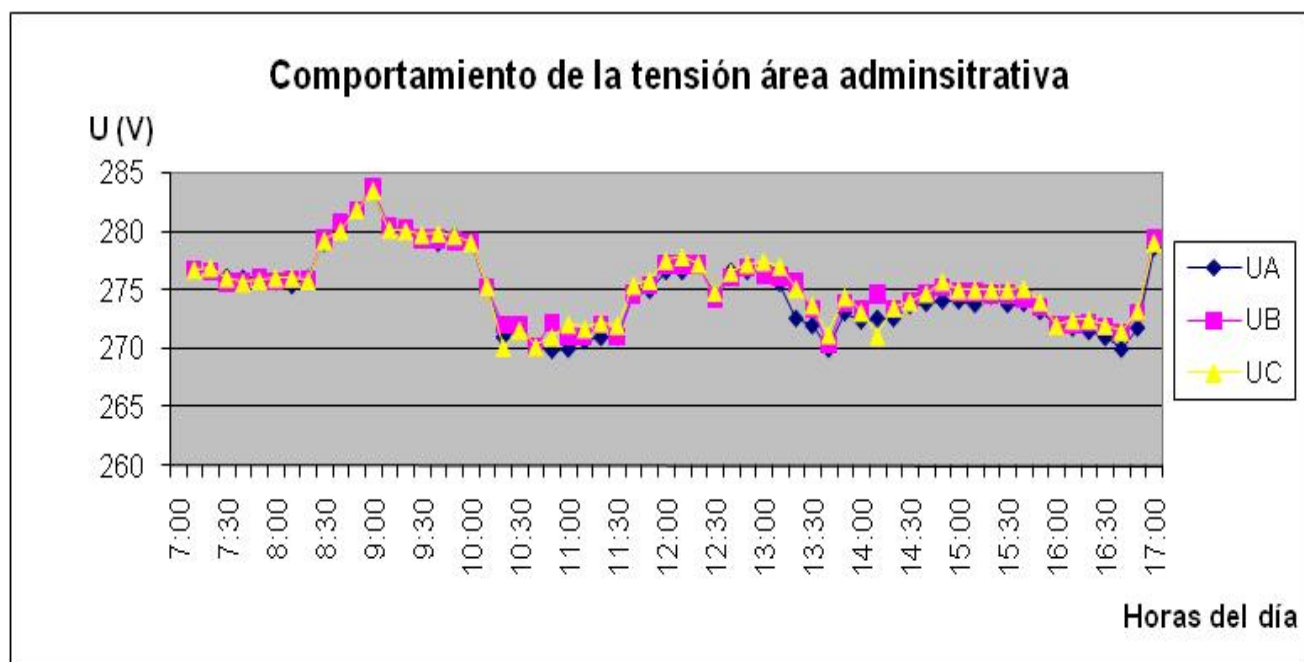


Figura 2.9 Tensiones por fases en el área administrativa.



Figura 2.10 Potencia aparente en el área administrativa.

Resumen del análisis de las mediciones.

- Las mediciones se realizan cada diez minutos, desde las 07:00am hasta las 05:00pm.
- A las 7:00 de la mañana es apreciable un nivel de consumo de 10 kVA correspondiente al alumbrado exterior, el área de servidores y la presencia de personal antes del horario de trabajo, con el consecuente encendido de aires acondicionados y computadoras.
- Como se puede apreciar la fase B es la de mayor carga, mientras que la fase A presenta el nivel de carga más bajo.
- Es apreciable la disminución de la demanda en el horario de 11:00 am hasta 1:30 pm, correspondiente al horario de almuerzo y de apagado de los aires acondicionados.
- Los picos de corriente manifestados en las fases B y C, responden al funcionamiento de los tornos, esmeriladora, máquinas de soldar y algunos equipos del laboratorio.
- Es apreciable que en el horario de la tarde no se cumple con las medidas de ahorro, desconectando los equipos solamente a la hora de salida.

2.7.3 Comportamiento de las variables eléctricas en Planta de Carbón.

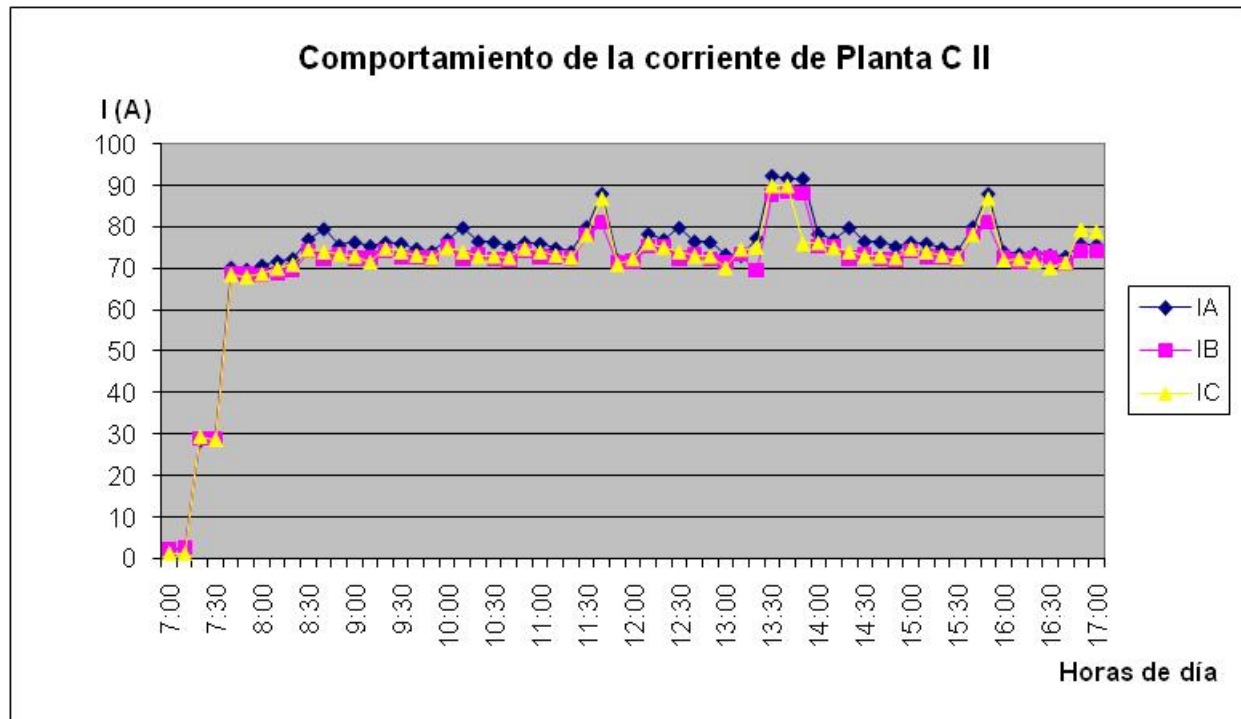


Figura 2.11 Corrientes por fases en la Planta de Carbón.

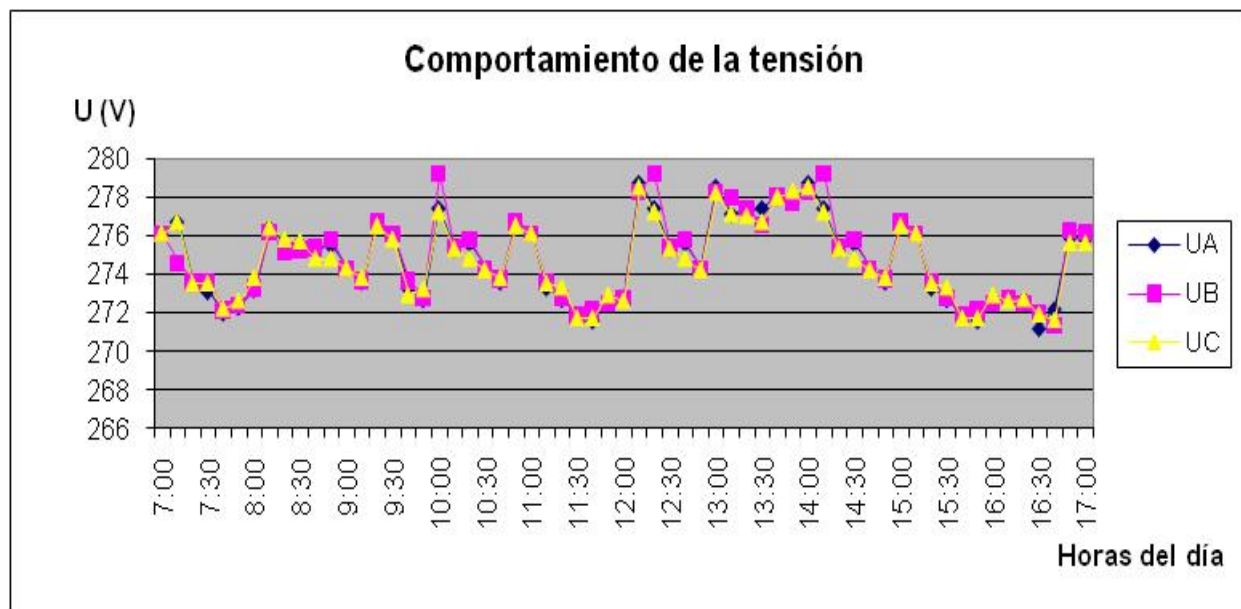


Figura 2.12 Tensiones por fases en la Planta de Carbón.

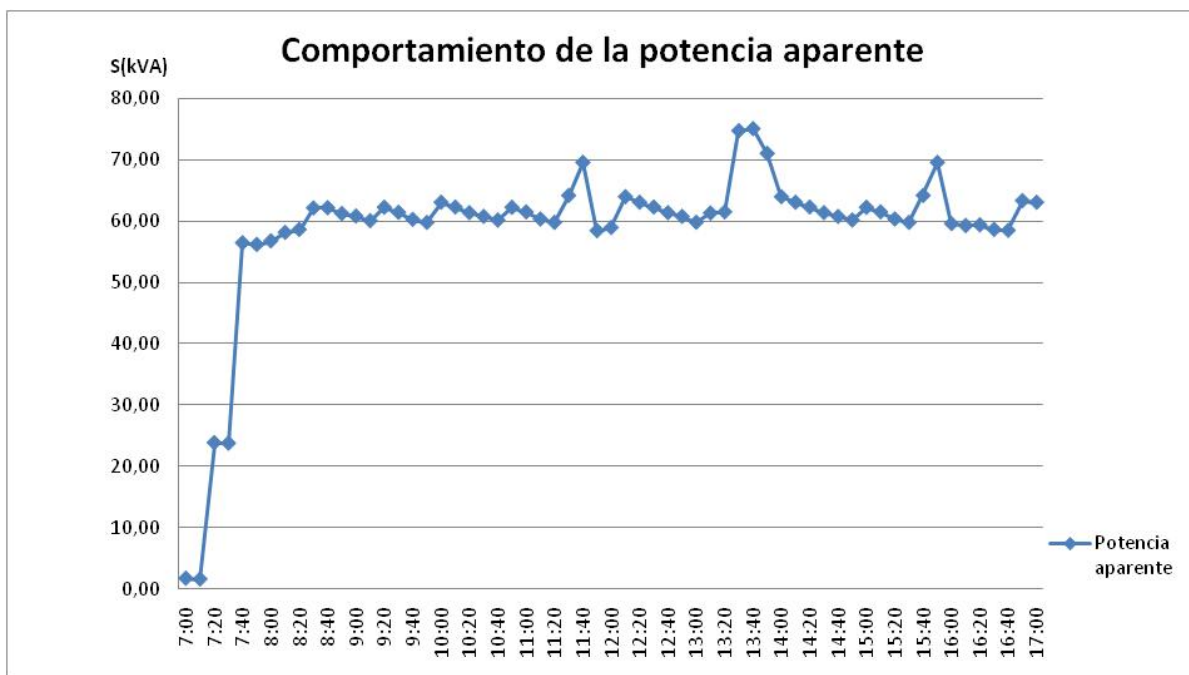


Figura 2.13 Potencia aparente en la Planta de Carbón.

Resumen del análisis de las mediciones.

- Las mediciones se realizan cada diez minutos, desde las 07:00am hasta las 05:00pm.
- A las 7:00 de la mañana es apreciable un nivel de consumo mínimo correspondiente al alumbrado exterior, y seguidamente la presencia de personal a las 7:20 am eleva el consumo a 24 kVA, con el consecuente encendido de aires acondicionados y computadoras.
- Se inician las actividades con el encendido de los equipos de Secadero para el calentamiento de la cámara y cuando es alcanzada la temperatura deseada se procede al encendido de los restantes equipos que completan el proceso tecnológico, manteniendo un comportamiento estable hasta la hora de almuerzo en la que se utiliza el compresor para la limpieza del sistema.
- Existe buen balance entre las fases para las corrientes y tensiones.
- La tensión presenta oscilaciones que responden a la conexión y desconexión de los motores.

Comportamiento de las potencias aparentes del transformador, la instalada y la real.

El comportamiento de lo que realmente se demanda, en correspondencia con la capacidad del transformador de la instalación y la potencia instalada se muestran en la siguiente figura.

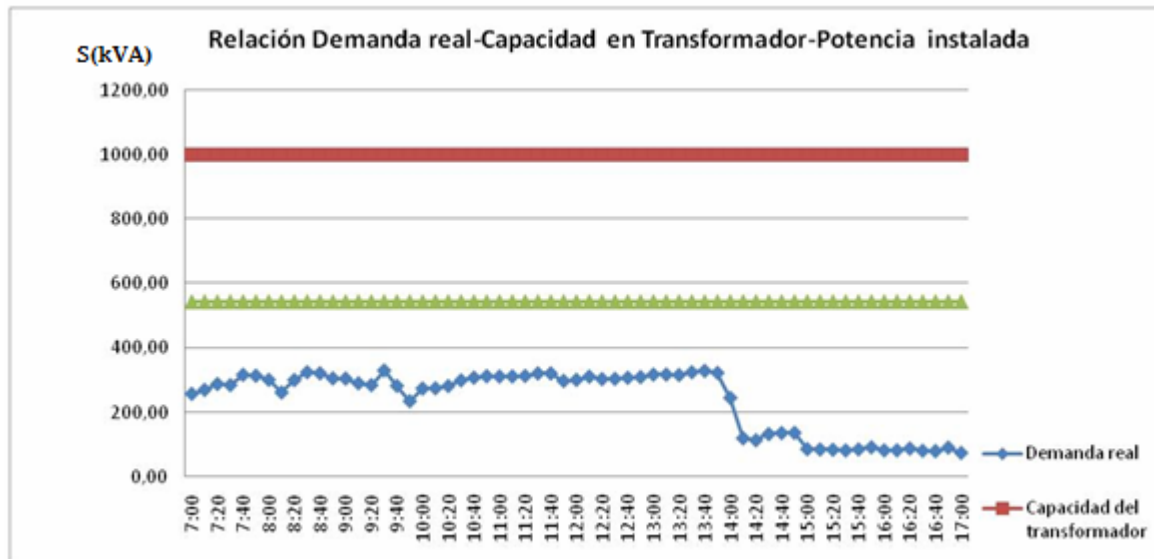


Figura 2.14 Potencia aparente nominal de transformador e instalada y real con Horno de Arco Eléctrico.

En condiciones normales de trabajo la demanda de la instalación es mucho menor, pues el Horno de Arco Eléctrico es de uso limitado, es decir, en un período de 3 años solo se ha empleado una semana. Ver figura 2.15.

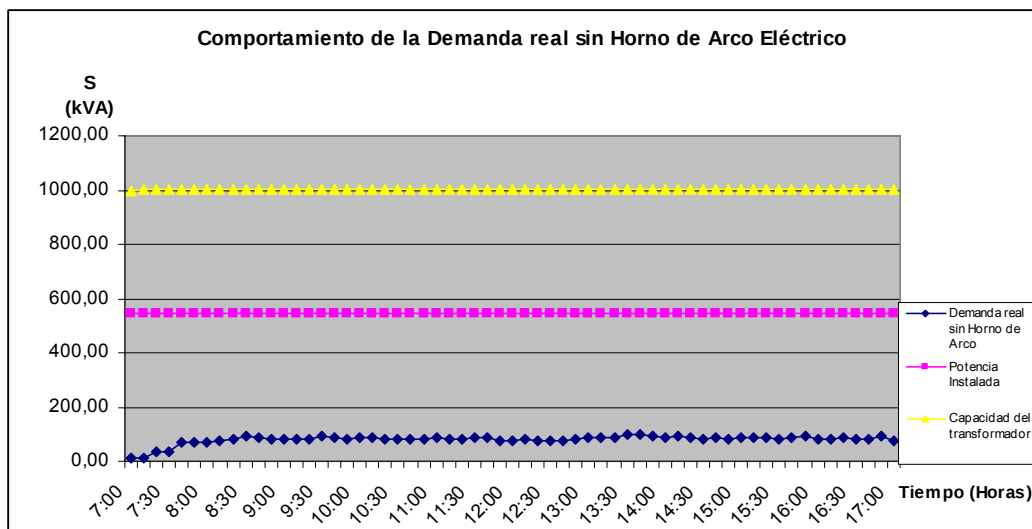


Figura 2.15 Potencia nominal de transformador e instalada y real sin Horno de Arco Eléctrico.

Resumen del análisis de las mediciones.

- Las mediciones se realizan cada diez minutos, desde las 07:00am hasta las 05:00pm.
- Teniendo en cuenta la demanda para el día de operación a plena capacidad del Horno y todas las demás cargas, es apreciable la diferencia existente entre la demanda real y la capacidad nominal del transformador.
- La máxima demanda real, cuando no opera el Horno de Arco Eléctrico es de 99.75 kVA, muy distante de la potencia instalada. Lo que responde a la presencia de muchos equipos en desuso.

2.8 Pérdidas de transformación.

Para las pérdidas de transformación en el transformador principal se obtiene mediante la metodología utilizada por la unión eléctrica.

Las pérdidas en el hierro del transformador y del cobre, se encuentran en el anexo 6 (estas pérdidas del hierro y del cobre son promedios, en correspondencia con la potencia del transformador en específico).

2.8.1 Pérdidas de transformación actuales.

El Centro cuenta con un transformador de 1 000 kVA con un consumo de energía eléctrica media por meses en el año 2009 de 12 556.4167 kW/h, con factor de potencia medio de 0.99, se trabaja dos turnos diarios. Las pérdidas promedios mensuales son:

$$pfe = 2.594 \text{ kW}$$

$$pcu = 11.115 \text{ kW}$$

$$T1 = 400 \text{ hrs / mes}$$

$$T3 = 730 \text{ hrs / mes}$$

$$kVAn = 1000 \text{ kVA}$$

$$kVA \text{ reales} = \frac{\text{Consumomes}(\text{kW} / \text{h})}{T1 * \text{factor de potencia}}$$

$$kVA \text{ reales} = \frac{12556.4167}{400 * 0.99}$$

$$kVA \text{ reales} = 31.7$$

$$pt = pfe * T3 + \left(\frac{kVAr}{kVAn} \right)^2 * pcu * T1$$

$$pt = 2.594 * 730 + \left(\frac{31.7}{1000} \right)^2 * 11.115 * 400$$

$$pt = 1898kW / hmes$$

2.8.2 Pérdidas de transformación disminuyendo la capacidad del transformador actual.

A partir de las mediciones realizadas obtenemos una potencia aparente en barras de 402.71 kVA por que estandarizando sería un banco de (500 kVA).

$$pfe = 1.484kW$$

$$pcu = 6.883kW$$

$$T1 = 400hrs / mes$$

$$T3 = 730hrs / mes$$

$$kVAn = 500kVA$$

$$kVAr = \frac{Consumomes(kW / h)}{T1 * factordepotencia}$$

$$kVAr = \frac{12556.4167}{400 * 0.99}$$

$$kVAr = 31.7kVA$$

$$pt = pfe * T3 + \left(\frac{kVA_r}{kVA_n} \right)^2 * pcu * T1$$

$$pt = 1.484 * 730 + \left(\frac{31.7}{1000} \right)^2 * 6.883 * 400$$

$$pt = 1083.08 \text{ kW} / \text{hmes}$$

2.8 Selección de conductores.

Para la selección de los conductores se parte de la determinación de la demanda máxima por ramales y en el nodo principal, considerando el coeficiente de utilización, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

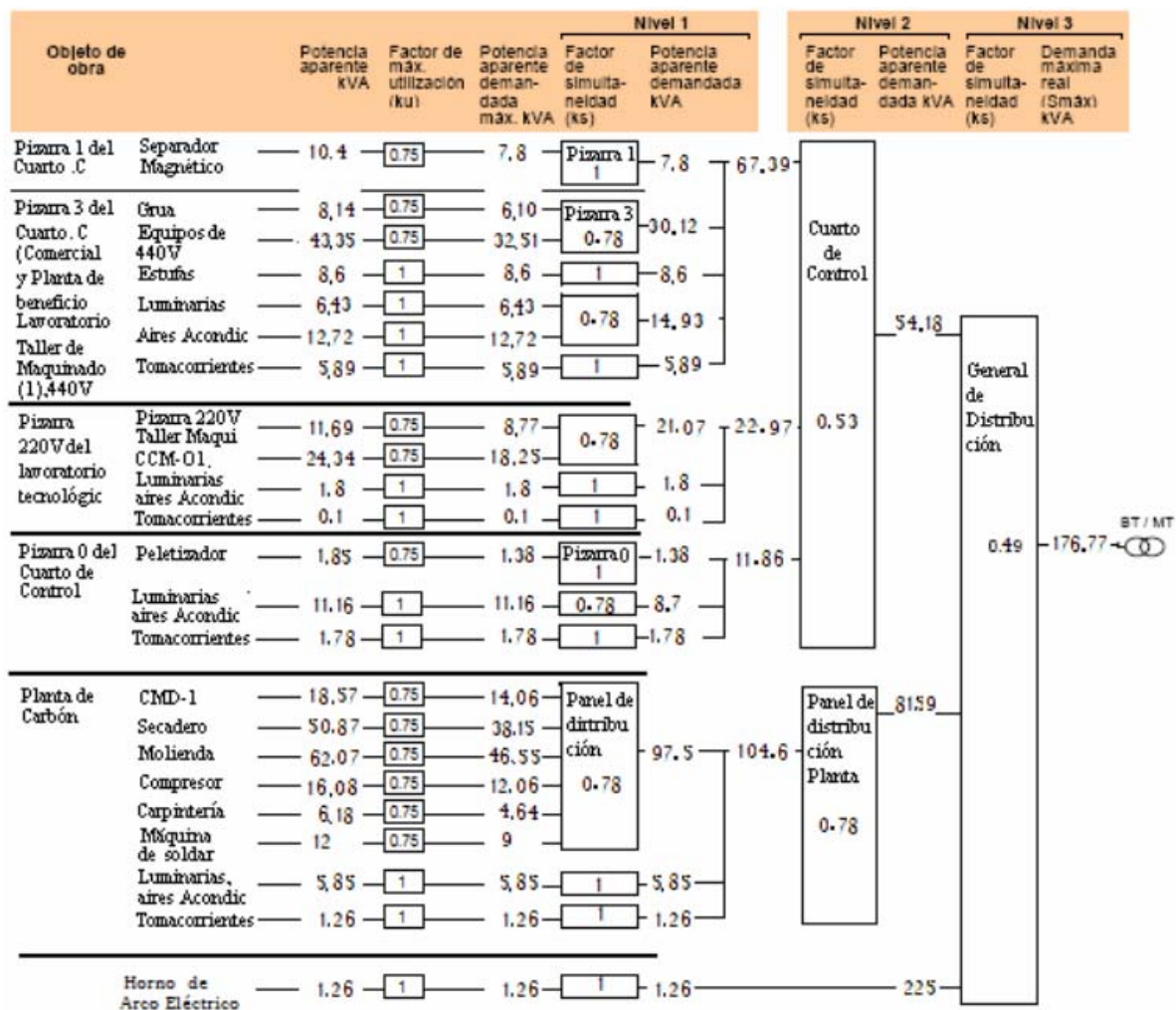


Figura 2.16 Potencia por nodos.

$$S_{m\acute{a}x} = S * K_s$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} * 1000}{\sqrt{3} * U}$$

Ramal 1. Cuarto de Control.

$$S_{m\acute{a}x} = S * K_s = (67.39 + 22.97 + 11.86) * 0.53 \\ = 54.18 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} * 1000}{\sqrt{3} * U} = 65.25 \text{ A}$$

Ramal 2. Planta de Carbón.

$$S_{m\acute{a}x} = S * K_s = (104.6) * 0.78 \\ = 81.59 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} * 1000}{\sqrt{3} * U} = 98.25 \text{ A}$$

Ramal 3. Horno de Arco Eléctrico.

$$S_{m\acute{a}x} = S * K_s = (225) * 0.49 \\ = 110.25 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} * 1000}{\sqrt{3} * U} = 132.77 \text{ A}$$

Nodo principal.

$$S_{m\acute{a}x} = S * K_s = (54.18 + 81.59 + 225) * 0.49 \\ = 176.77 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} * 1000}{\sqrt{3} * U} = 212.87 \text{ A}$$

2.9 Actualización del monolineal y esquemas de paneles eléctricos principales.

Una de las vías para facilitar el trabajo de mantenimiento y adecuación de redes es mediante el uso de esquemas monolineales que detallen el sistema de suministro de las instalaciones,

además existen regulaciones que exigen el uso del mismo (Metodología para las Auditorías de mantenimiento industrial y la eficiencia energética, según Resolución No. 60-2008), que estén actualizados y con todos los datos técnicos necesarios (voltajes nominales en todos los niveles de voltajes del sistema, calibres de los alimentadores, niveles de cortocircuito en la (s) PGD y en las pizarras de fuerza y centro de control de motores, capacidades nominales e interruptivas de los disyuntores, datos nominales de los transformadores de fuerza y alumbrado y datos nominales de las cargas); para así cumplir con los objetivos fundamentales de la calidad y profundidad de los principales aspectos técnicos.

Inicialmente en la entidad no se contaba con el mismo, lo que dificultaba el trabajo y aumentaba el tiempo para localizar las fallas. Una vez realizado el estudio se confecciona el esquema monolineal que se muestra en el anexo 1.

2.10 Facturas de electricidad y demanda contratada.

Tabla 2.2 Facturas de electricidad del año 2009.

Centro Investigaciones S. Año 2009	Pérdidas por transf. (kWh)	Demanda contratada (kW)	Demanda registrada (kW)	Penalización por bajo Factor de Potencia	Penalización por demanda	Bonificación
Diciembre	1938	80	57,5	0	0	81,57
Enero	1934	80	54,7	0	0	83,19
Febrero	1747	80	39,8	0	0	83,35
Marzo	1936	80	50,6	0	0	83,19
Abril	1876	80	59,6	0	0	111,5
Mayo	1936	80	54,2	0	0	97,3
Junio	1874	80	62,9	0	0	99,82
Julio	1935	80	61,1	0	0	91,42
Agosto	1935	80	55,5	0	0	89,85
Septiembre	1872	80	62,7	0	0	89,21
Octubre	1934	80	54,7	0	0	87,71
Noviembre	1872	80	42,4	0	0	84,58
Diciembre	1933	80	42,9	0	0	71,98

Tabla 2.2 Facturas de electricidad del primer semestre de 2010.

Centro Investigaciones S. Año 2010	Pérdidas por transf. (kWh)	Demanda contratada (kW)	Demanda registrada (kW)	Penalización Por bajo Factor de Potencia	Penalización por demanda	Bonificación
Diciembre	1936	80	42.9	0	0	71.98
Enero	1934	80	49.5	0	0	82.26
Febrero	1748	80	108.9	0	0	105.10
Marzo	1936	80	49.7	0	0	95.94
Abril	1873	80	57.2	0	0	89.93
Mayo	1934	80	50.8	0	0	82.07
Junio	1875	80	61.8	0	0	100.2
Julio	1935	80	55.1	0	0	130.6

Como es apreciable en las tablas anteriores la penalización por bajo factor de potencia es nula, debido al empleo de un banco de condensadores que mantiene este factor por encima de 0.96, recibiendo a cambio una bonificación.



Figura 2.17. Ajuste de demandas.

Como se muestra en el esquema anterior, la demanda contratada real, se comporta en el año 2009 en 62 kW; la cual se tiene como referencia para reajustar a 65 kW, reduciendo así, el pago por demanda contratada.

2.11 Conclusiones del Capítulo 2.

En el capítulo se deja plasmado el levantamiento de la potencia instalada de la instalación, así como las deficiencias detectadas en los nodos y paneles de distribución. Se realizan las curvas que dan pie al análisis del comportamiento de las variables eléctricas. Se determinan las pérdidas eléctricas y se detallan los estados de los dispositivos de protección ubicados en as diferentes áreas, así como los cálculos necesarios para la selección de los conductores a través de coeficientes de utilización y simultaneidad.

Capítulo III Análisis de los resultados.

3.1 Introducción.

En el presente capítulo se realiza la valoración de los resultados obtenidos en el estudio del capítulo anterior. Se seleccionan los componentes de la red y se propone un plan de medidas para mejorar la eficiencia de la instalación.

3.2 Análisis de las mediciones realizadas en el nodo principal, los ramales principales y los equipos de mayor demanda.

3.2.1 Conclusiones de las mediciones del horno de arco eléctrico.

- 1. El horno trabaja con un **20 % por debajo de su eficiencia energética** debido a que no existe compensación de la potencia reactiva que demanda el horno y dado a que el factor de potencia de este tipo de equipamiento debe ser de 0,80.*
- 2. Se observó sobrecalentamiento de toda la red eléctrica del horno debido a las perdidas por efecto de Joule que se producen por una alta circulación de potencia reactiva hacia la carga.*
- 3. El control de la corriente para la fusión es insuficiente una vez que se controla la posición de los electrodos pero esto no garantiza una regulación adecuada de la corriente lo cual provoca el deterioro de los transformadores con la aparición de corrientes sostenidas superiores a la nominal.*
- 4. Los instrumentos de medición de las corrientes que circula por los electrodos no permiten realizar lecturas lo más cercanas posible a la realidad debido a que son diferentes desde el punto de vista constructivos pero además no todas las escalas son lineales.*
- 5. Para compensar el factor de potencia de la instalación es necesario colocar un condensador trifásico con una capacidad de 107,21 CkVAr o su equivalente en el mercado.*
- 6. Durante la prueba de fusión # 2 se pudo comprobar que la energía activa que se consume en una hora trabajando los 3 electrodos es de **0,121364 MWh** lo que representa a razón de **\$53,00 USD** el MWh, un gasto de **\$ 6,43 USD** por cada hora de fundición. Este dato no incluye el valor del pago por demanda ni por consumo de potencia reactiva.*

7. *Como consecuencia del consumo de potencia reactiva actual se incrementan las perdidas por transformación, esto además influye en que la potencia disponible en el transformador de la subestación de entrada disminuya su capacidad de potencia.*
8. *La relación de transformación de la corriente que se mide en el interruptor principal es de 3,5 menos con respecto a la corriente que circula por los electrodos y la tensión es de 5,86.*

3.2.2 Conclusiones de las mediciones de la Planta de Carbón.

1. *Existen picos que responden a la alimentación de carbón para el llenado de la tolva y alimentación del horno rotatorio.*
2. *El comportamiento de las variables de la planta solo se afecta por la entrada de la alimentación, el compresor y la carpintería.*

3.2.3 Conclusiones de las mediciones del Cuarto de Control.

1. *Se aprecia que el consumo es mayor que en el horario de 7:00 am a 8:00 am, lo que responde al no cumplimiento en su totalidad de las medidas de ahorro por parte del personal*

3.3 Selección de conductores.

Teniendo en cuenta los resultados del capítulo anterior se procede a la selección de los conductores por ramales y en el nodo principal utilizando la siguiente tabla de capacidad de corriente en función de las secciones y calibres para conductores de cobre y aluminio.

Tabla. 3.1 Sección y calibre de conductores de aluminio y cobre.

Calibre	Sección (mm ²)	1		2		3		4	
		Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
14	2.09	20	-	20	-	30	-	30	-
12	3.31	25	20	25	20	40	30	40	30
10	5.26	40	30	40	30	55	45	55	45
8	8.36	55	45	65	55	70	55	70	55
6	13.30	80	60	95	75	100	80	100	80
4	21.15	105	80	125	100	135	105	130	100
3	26.10	120	95	145	115	155	120	150	115
2	33.62	140	110	170	135	180	140	175	135
1	42.40	165	130	195	155	210	165	205	160
1/0	53.48	195	150	230	180	245	190	235	185
2/0	67.43	225	175	265	210	285	220	275	215
3/0	85.01	260	200	310	240	330	255	320	250
4/0	107.20	300	230	360	280	385	300	370	290
250	126.64	340	265	405	315	425	330	410	320
300	152	375	290	445	350	480	375	460	360
350	177.30	420	330	505	395	530	415	510	400
400	202.71	455	355	545	425	575	450	555	535
500	253.35	515	405	620	485	660	515	630	490
600	304	575	455	690	545	740	585	710	560

- (1) Conductores en tuberías.
- (2) Conductores directamente enterrados.
- (3) Conductores en conductos enterrados.
- (4) Conductores instalados en el aire.

Ramal 1. Cuarto de Control.

Tabla 3.2 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	65.25
Sección (mm ²)	8.36
Calibre de conductor de cobre	8

Ramal 2. Planta de Carbón.

Tabla 3.3 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	98.25
Sección (mm ²)	13.30
Calibre de conductor de cobre	6

Ramal 3. Horno de Arco Eléctrico.

Tabla 3.4 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	132.77
Sección (mm ²)	26.10
Calibre de conductor de cobre	3

Nodo principal.

Tabla 3.5 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	212.87
Sección (mm ²)	53.48
Calibre de conductor de cobre	1/0

3.4 Selección de dispositivos de protección.

Partiendo de las corrientes de los ramales se puede fijar el ajuste de los dispositivos de protección para la corriente nominal o de acción térmica, multiplicando la corriente de operación por el factor de seguridad que oscila entre 1.5 a 2. [Torres Breffe, Orlis, 2002]

$$I_n = (1.5 \div 2) * I_{op}$$

Ramal 1. Cuarto de Control.

$$I_n = 1.5 * 65.25 = 97.88 \text{ A}$$

Ramal 2. Planta de Carbón.

$$I_n = 1.5 * 98.25 = 147.38 \text{ A}$$

Ramal 3. Horno de Arco Eléctrico.

$$I_n = 1.5 * 132.17 = 198.26 \text{ A}$$

Nodo principal.

$$I_n = 1.5 * 212.87 = 319.31 \text{ A}$$

3.5 Medidas de mejora de la eficiencia en la instalación.

1. Aprovechamiento al máximo de la luz solar para el alumbrado de planta y de otros locales apropiados para ello.
2. Utilizar los aires acondicionados a partir de las 9:00 AM y desconectarlo en el horario de almuerzo comprendido de 11:30 AM a 12:30 PM.
3. Desconectar equipos eléctricos y luces de las oficinas en caso de alguna gestión, reunión u otra actividad fuera o dentro del centro.
4. Controlar, chequear y analizar los índices de consumo de portadores energéticos fundamentales en el centro.
5. Sustituir las lámparas de 400 W por otras de 250 W en talleres y laboratorios.

6. Utilización del carbón antracita pulverizado en la combustión con el fin de disminuir el uso de combustible Diesel.
7. Automatizar el sistema de control de temperatura en la cámara y salida de los gases.
8. Insulación del horno rotatorio.
9. Sustitución de quemador de diesel de vieja tecnología por un quemador marca Weishaupt de tecnología de punta.
10. Revisión de la explotación inferior al 50% de los parámetros nominales de los motores de Molienda.
11. Revisión de la demanda contratada con la OBE, para ajustes a la demanda real de la instalación.

3.6 Valoración económica del trabajo.

Si se reduce en un 50% la capacidad del transformador de entrada, existe una reducción de las pérdidas de 814.92 kW, lo que equivale a 162.98 CUC, considerando que para producir 1 kWh el país invierte 0.20 CUC.

La demanda contratada, que en la actualidad es de 80 kW; se reajusta a 65 kW, para un valor de reducción de 15kW, que representa un ahorro mensualmente de 75 CUC.

3.7 Conclusiones del Capítulo III.

En el capítulo se resume el análisis de las mediciones realizadas, se proponen las medidas para reducir el consumo de electricidad, así como la selección de los dispositivos de la red.

Conclusiones.

Con la realización de este trabajo,

1. Se identificaron las insuficiencias existentes en el sistema eléctrico de la entidad objeto de estudio.
2. Se realizó el levantamiento de cargas para determinar la potencia instalada.
3. Se actualizaron el monolineal y los planos eléctricos.
4. Se determinó el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas, en los circuitos principales y en los equipos de mayor demanda.
5. Se determinó la relación entre la demanda energética de la entidad y la capacidad instalada en el transformador de alimentación, corroborando la gran diferencia que conlleva a la contratación de una nueva demanda o al cambio del transformador.
6. Se propone un plan de medidas para la disminución del consumo del portador energético electricidad.

Recomendaciones.

Realizar un nuevo contrato con la OBE.

Sustituir el transformador de entrada.

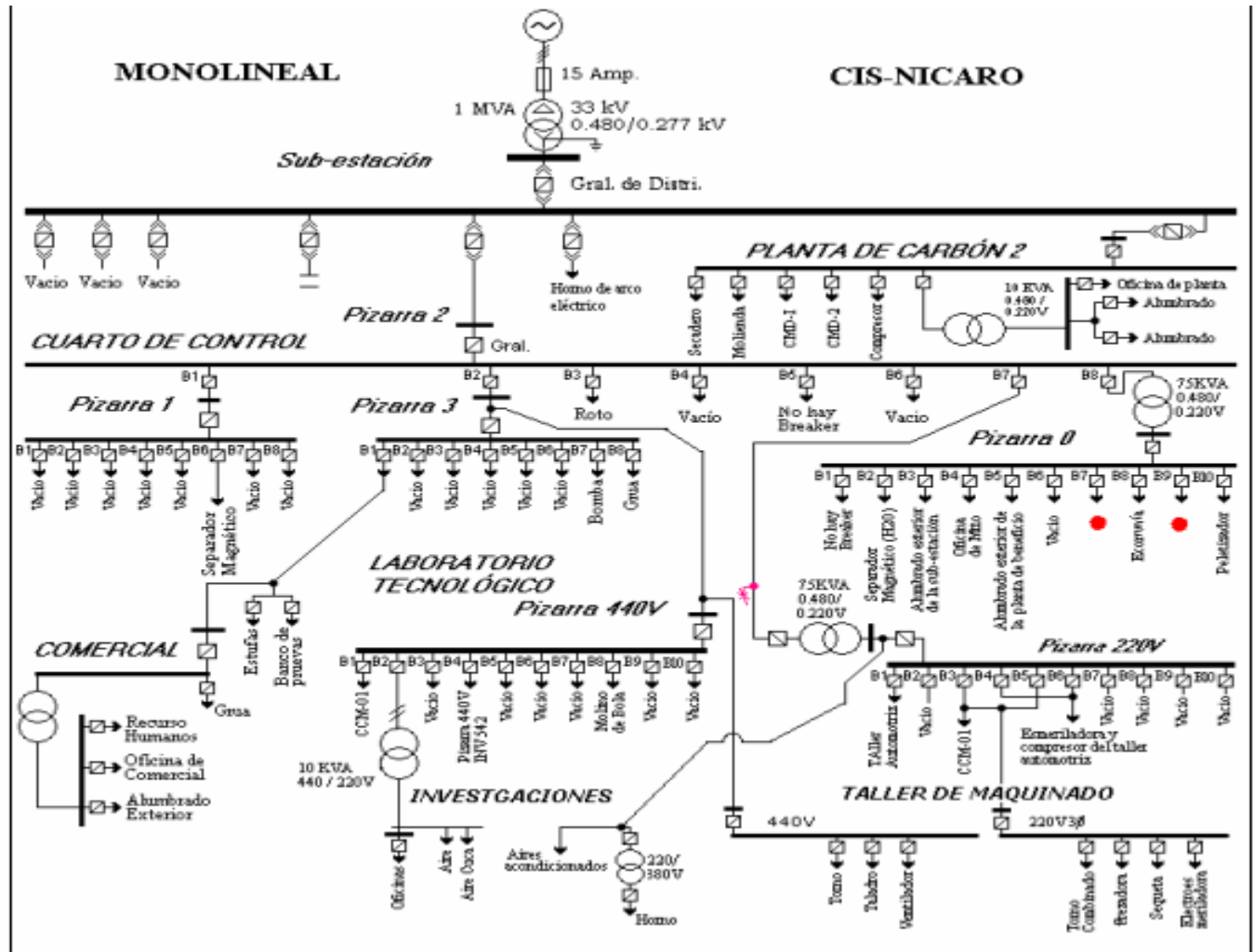
Bibliografía.

1. Almirall Mesa, Juan: TEMAS de INGENIERÍA ELÉCTRICA. Editorial Félix Varela. La Habana, 2003.
2. Borroto Nordelo, A.E; et. al. Libro de Gestión Energética en el sector Productivo y los Servicios. Cienfuegos: Centro de estudios de energía y medio ambiente (CEEMA), 2006.
3. CAMPO AVELLA, J. C. La Eficiencia Energética en la competitividad de empresas. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos, 1998.
4. CASAS FERNANDEZ, L. et. al. Temas Especiales de sistemas Eléctricos industriales. Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, 2006.
5. FEODOROV, A. A. Suministro Eléctrico de Empresas Industriales. 2 ed. La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 1993.
6. General Electric. Capacitors, Arresters and Harmonic Filters. 2004.
7. Gestión Energética Empresarial. Cienfuegos: (CEEMA), 2004.
8. Grupo de Eficiencia Energética de Moa (UEM), Informes de los Diagnósticos Energéticos realizados a hoteles del polo turístico de Holguín.
9. HERNÁNDEZ BATISTA, O. E. Gestión Energética en el Hotel Miraflores. Moa.2008. Reineris Montero Laurencio; Marislaidis Reyes Locadio. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2008.
10. KOSTENCO, M. y PIOTROVSKY, L. Máquinas Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982. 522 p.
11. Manual de Consumidores: Tarifas Eléctricas y su Aplicación. La Habana: Unión Eléctrica, 2007.
12. MÉNDEZ RODRÍGUEZ, O. Sistema Automatizado para la Gestión Energética en el ISMM de Moa. Secundino Marrero Ramírez. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2008.
13. Merlín Gerín. Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos 2003.
14. M.I.T, Circuitos magnéticos y Transformadores. Reverté. Buenos Aires, 1981.
Disponibile en: < <http://transformadortrifásico.mth> >
15. Morera Hernández, Mario: Accionamiento eléctrico automatizado, parte I. Editorial Félix Varela. La Habana, 2004.

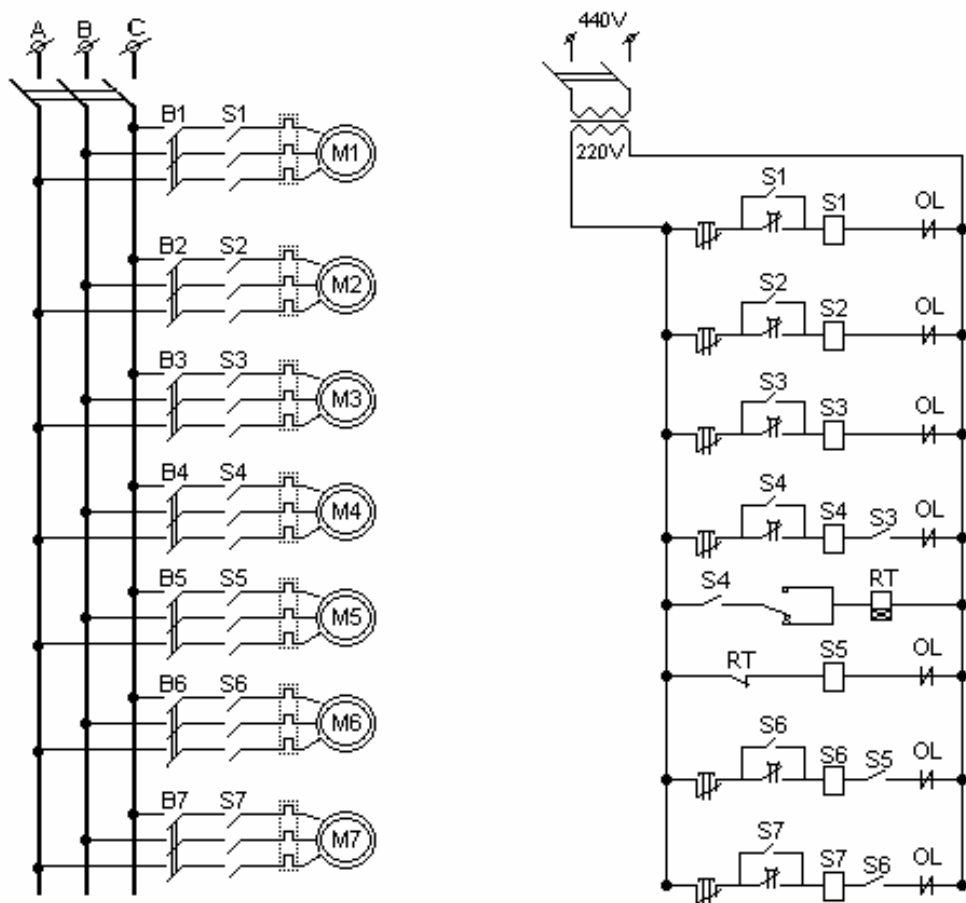
16. PINO MORALES, J. Aplicación de herramientas de la Gestión Energética en la Batería de Grupos Electrógenos Diesel de Moa 2008. Moa, 2008.
17. PONCE DE LEÓN ZALDÍVAR, A.; S. MARRERO RAMÍREZ. Estudio de los portadores energéticos en el ISMM de Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2002.
18. Reglamento Electrotécnico Cubano. Edición 1.0 2008.
19. Sánchez Torres, R. Eficiencia Energética en el Combinado Lácteo Rafael Freyre Torres. Gabriel Hernández Rodríguez. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
20. SARIOL SOSA, S. ¿Electricidad sobrante?. Periódico Granma, 30 de mayo 2009 (127): 3.
21. SMOLENSKI, Ivanov. Máquinas Eléctricas.
22. Uso Eficiente de la Energía Eléctrica. [en línea]. Perú: Procobre. Disponible en: <http://www.procobreperu.org>
23. VOLDEK, A. I. Máquinas Eléctricas.
24. VIANI GARRIDO, E; R. MORA H. Gestión de Información sobre Soluciones Energéticas. CUBAENERGIA: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo.
25. VIEGO FELIPE, V; et. al. Maestría Eficiencia Energética: Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, 2007.

Anexos.

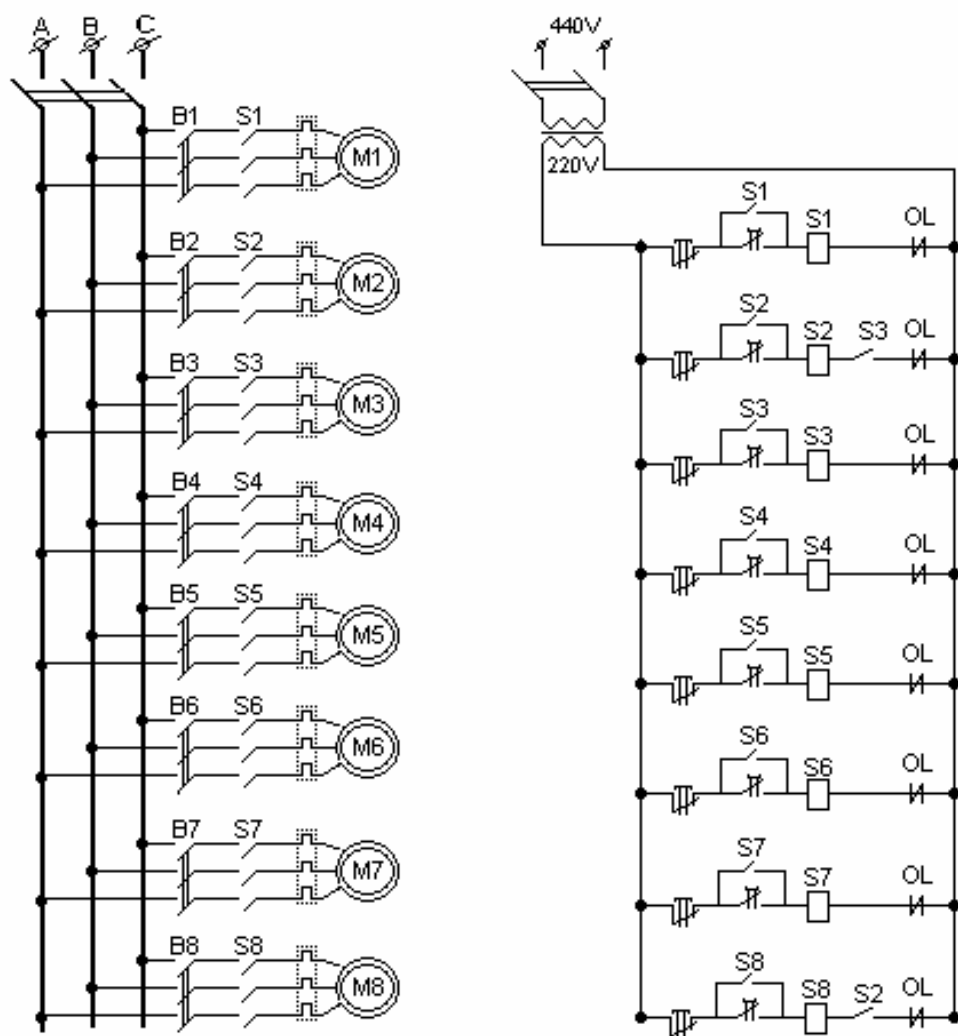
Anexo 1 Monolineal del Centro de Investigaciones Siderúrgicas de Nicaro.



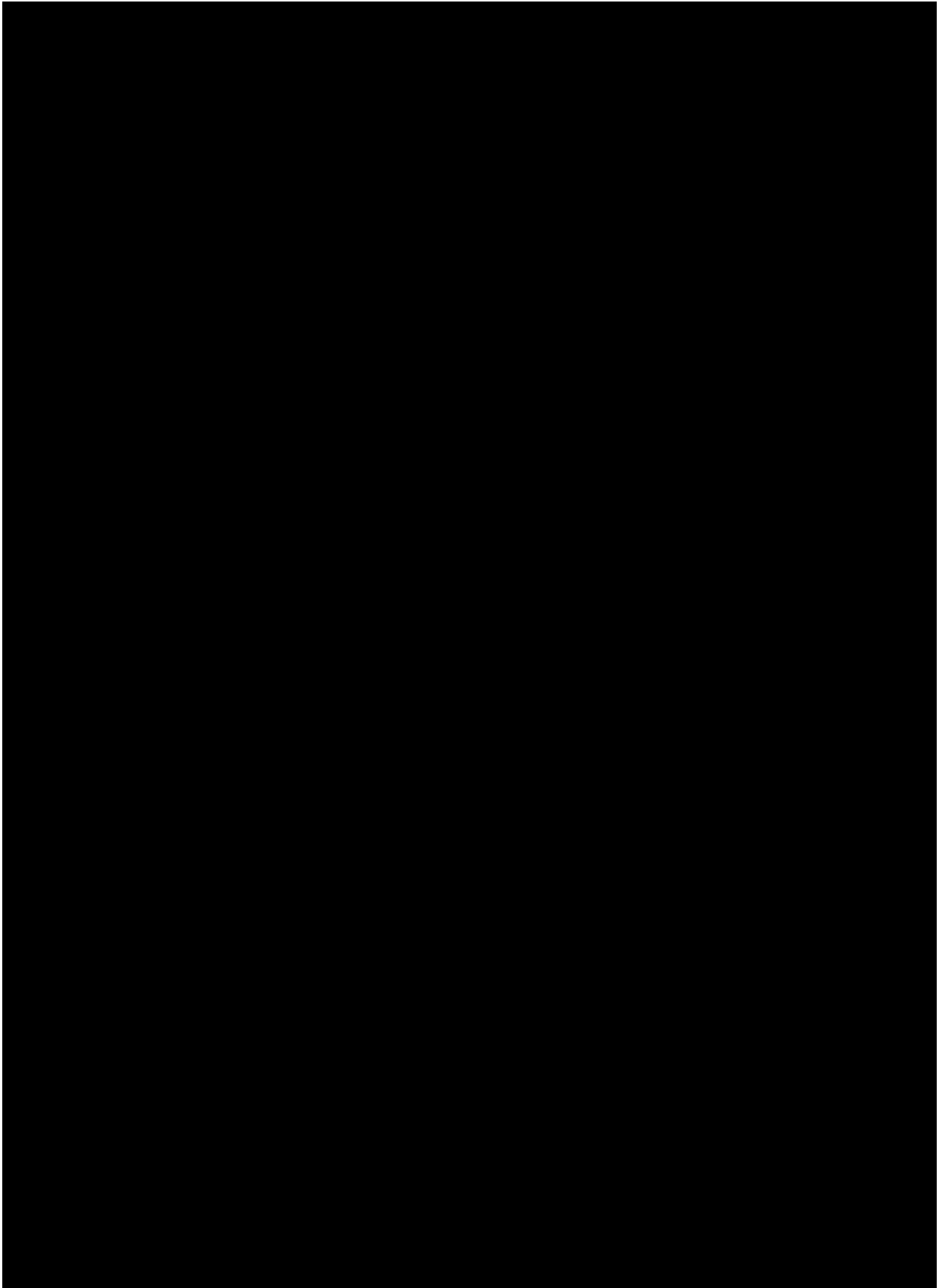
Anexo 2. Esquema eléctrico de la pizarra del área de molienda de la planta de producción.

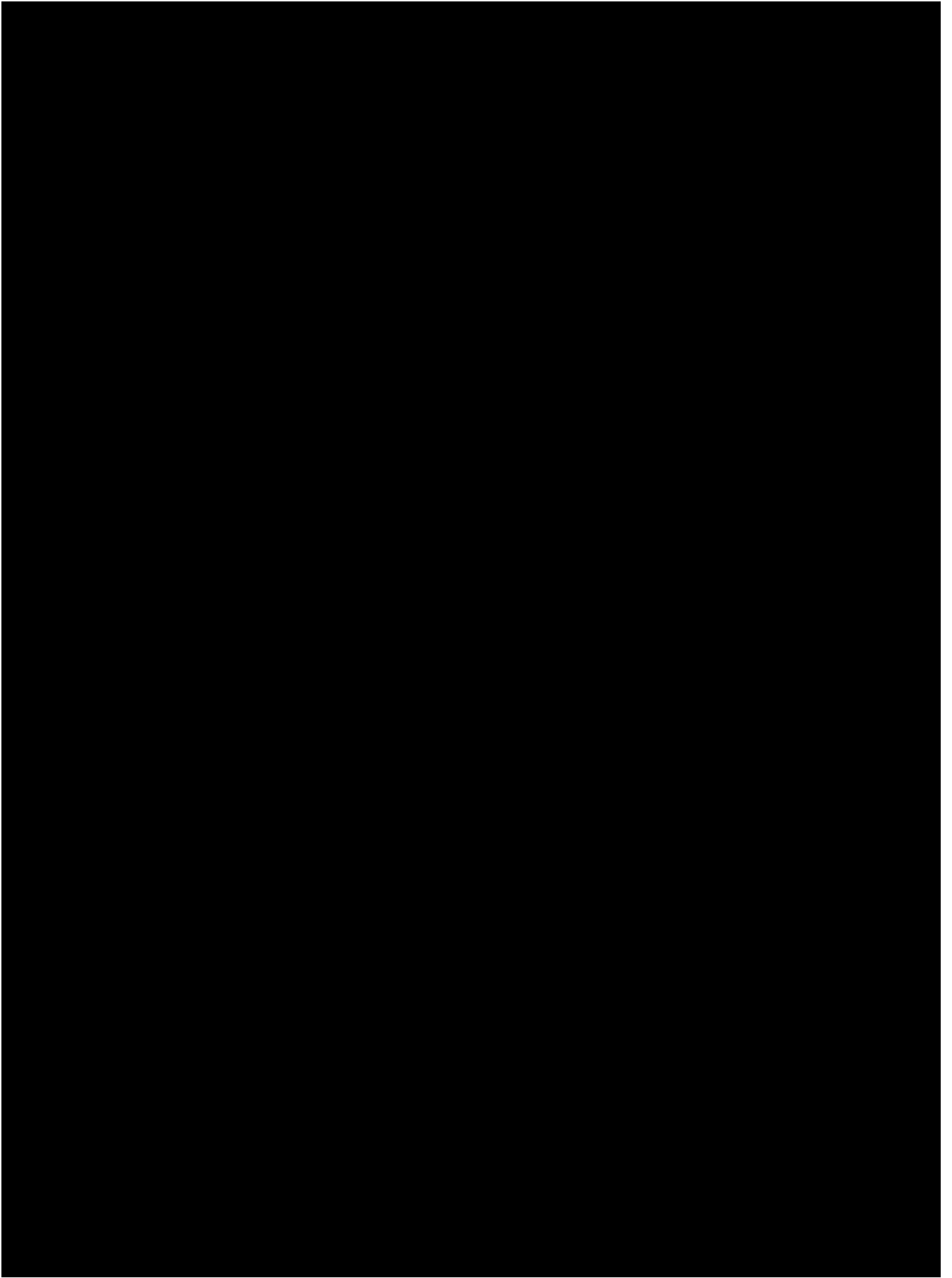


Anexo 3. Esquema eléctrico de la pizarra del área de secado de planta de producción.



Anexo 4. Levantamiento de las cargas de la empresa.







Anexo 5. Clasificación de los consumidores de energía eléctrica por categoría, en el área de Taller de maquinado, Alumbrado Exterior y Oficinas.

TERCERA CATEGORÍA Receptores no incluidos en las categorías primera y segunda, no determinantes en el proceso tecnológico de la producción fundamental	Taller de Maquinado	
	Equipos	Potencia real (kVA)
	Ventilador criollo torno combinado	500
	Ventilador criollo area de soldadura	1000
	Torno IM 63 Inv. 1280	6390
	Torno paralelo horizontal Inv. 604	3900
	Frezadora Inv.1281	6860
	Segueta mecánica Inv.1282	2364
	Rectificador (máquina de soldar) Inv.1322	12000
	Taladro radial Inv.1349	6180
	Esmeriladora Inv. 600	2470
	Alumbrado Exterior	
	Garita 1x5	30
	Garita 2x250	526
	Almacen 2x250	526
	Edificio administrativo 1x400; 1x250	684
	Negocio 1x400; 1x250	684
	Subestación 2x250	526
	Calle 2x250	526
	Planta de beneficio 2x250	526
	Tanque 3 x 250	789
	Transporte 2x250	526
	Planta de carbón 3x400; 10x250	3894
	Oficinas	
	Planta de radio	25
	Trunking	25
	Luminaria interior 1x20	59,7
	Aire acond. LG	550
	Computadora	100
	Luminaria interior 2x40	160
	Aire acond. LG	550
	Aire acond. LG	550
	Computadora	300
	Luminaria interior 2x40	320
	Cocina eléctrica	1162,7
	Nevera LG Inv.	550
	Refrigerador Inv.	133

	Taller de Maquinado	
	Equipos	Potencia real (kVA)
	Oficinas	
TERCERA CATEGORÍA Receptores no incluidos en las categorías primera y segunda, no determinantes en el proceso tecnológico de la producción fundamental	Luminaria interior 1x40	60
	Caja de agua.	77
	Luminaria interior 1x20	29
	luminaria interior 2x40	160
	luminaria interior 2x40	320
	cocina eléctrica	
	luminaria interior 2x40	320
	Aire acond. LG	550
	luminaria interior 2x40	252,6
	luminaria interior 2x20	59
	Grúa viajera de 5 t. (Motores)	8179
	cocina eléctrica	1162
	Aire acond. LG	550
	luminaria interior 2x40	238
	Computadora	100
	Aire acond. LG	550
	luminaria interior 2x40	179
	Computadora	100
	Aire acond. LG	550
	Aire acond. LG	550
	Luminaria 2x40	477
	Computadora	600
	Aire acond. Vince	1722
	Luminaria 2x40	119
	Refrigerador	111
	PC	84,8
	luminaria 1x40	80
	Aire acond. LG	550
	Aire acond. LG	550
	luminaria 2x40	119
	Refrigerador	133
	PC	84,8
	Aire acond. LG	550
	Aire acond. LG	550
	luminaria 2x40	286,3
	Aire acond. LG	550
	luminaria 1x20	59,7
	luminaria 2x40	143
	Computadora	100
	Aire acond. LG	550
	luminaria 1x40	119
	Computadora	100
	Aire acond. LG	550
	Computadora	100
	luminaria 2x40	119

TERCERA CATEGORÍA Receptores no incluidos en las categorías primera y segunda, no determinantes en el proceso tecnológico de la producción fundamental	Taller de Maquinado	
	Equipos	Potencia real (kVA)
	Oficinas	
	luminaria 1x20	59,7
	Cocina eléctrica	490
	Aire acond.	550
	luminaria 1x40+2x40	179
	PC	84,8
	luminaria 2x40	119
	Computadora	100
	Aire acond. LG	2644
	Computadora	100
	luminaria 2x40	119
	luminaria 1x23+1x20+2x40	183,5
	Cocina eléctrica	1218
	Aire acond. Frigus	1077
	Computadoras	430
	luminaria 4x40	228
	Aire acond. Frigus	1077
	PC	84,7
	luminaria 4x40	179
	Aire acond. LG	550
	Aire acond. LG	550
	Computadoras	322
	luminaria 2x40	238,8
	Aire acond. LG	550
	luminaria 2x40	238,8
	Computadora	100
	Aire acond. LG	550
	luminaria 2x40	477,6
	Computadora	500
	Aire acond. LG	1034
	luminaria 2x40	238,8
	Computadora	100
	Aire acond. LG	550
	luminaria 2x40	119
	Computadora	100
	Compresor móvil.	2558
	Peletizador.	1850
	Pulverizadora.	2473
	Separador electromagnético por vía seca.	10364
	Trituradora de mandíbula pequeña.	2473
	Trituradora de mandíbula mediana.	6180
	Trituradora de mandíbula grande.	22100
	Horno de arco eléctrico 225000VA	225000
	Estufa	600
	luminaria 1x40	169
	luminaria 2x40	119

	Taller de Maquinado	
	Equipos	Potencia real (kVA)
	Oficinas	
TERCERA CATEGORÍA Receptores no incluidos en las categorías primera y segunda, no determinantes en el proceso tecnológico de la producción fundamental	Horno	8000
	Aire acond. LG	550
	Computadora	100
	luminaria 2x40	119
	Aire acond. LG	550
	Computadora	100
	Computadora	100
	luminaria 2x40	238
	Aire acond. LG	550
	luminaria 2x40	119
	Aire acond. LG	550
	Aire acond. LG	1034
	luminaria 2x40	320
	luminaria 1x20	29,85
	luminaria 2x40	59,7
	luminaria 1x40	59,7
	Aire acond. LG	550
	Computadora	100
	luminaria 4x40	238
	luminaria 1x20	29,8
	Refrigerador Inv.	133
	Cocina eléctrica	1164,9
	Luminaria 1x40	59,7
	Luminaria 1x40	59,7
	luminaria 1x20	29,8
	Aire acond. LG	550
	Computadora	100
	luminaria 2x40	119
	luminaria 1x40	59,7
	luminaria 1x20	29,8

**Anexo 6. Pérdidas promedio de los transformadores de acuerdo a su capacidad
(MONOFÁSICOS)**

kVA	P.FE (kW)	PCU (kW)
5	0.046	0.107
10	0.065	0.180
15	0.084	0.251
25	0.115	0.389
37,5	0.162	0.487
50	0.199	0.626
75	0.269	0.882
100	0.332	1.185
167	0.482	1.893
250	0.66	2.802
333	0.83	3.587

Pérdidas promedios en transformadores trifásicos.

kVA	P.CU	PFE
25	0.553	0.230
37,5	0.718	0.259
40	0.860	0.263
50	1.125	0.268
63	1.170	0.285
75	1.306	0.443
100	1.771	0.468
150	2.218	0.813
200	2.738	1.143
300	4.206	1.349
400	5.803	1.457
500	6.883	1.484
630	7.736	1.531
750	9.925	2.237
800	10.340	2.300

1000	11.115	2.594
1250	15.520	2.705
1600	16.587	3.174
2000	23.950	3.649
2500	23.100	5.175
3200	37.000	11.500
10000	65.000	14.500
25000	120.000	27.000