



República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad Metalurgia-Electromecánica
Departamento de Eléctrica

Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Eléctrico

*Título: Análisis energético en La Planta de Beneficio de
Áridos de La ECRIN en Miguel, Sagua de Tánamo.*

Autor: Erlan Orestes Toll Palma.

Tutor: Ing. Yordan Guerrero Rojas.

*Dpto. Ingeniería Eléctrica
ISMM*

*Ing. Nordis Lamoru Matos
Técnico de Mantenimiento Industrial.
Taller Eléctrico ECRIN.*

Moa 2009-2010
“Año 52 del Triunfo de la Revolución”

Declaración de Autoridad

Yo: Erlan Orestes Toll Palma

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

Firma del Tutor.

Firma del Diplomante.

Agradecimientos

He de expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres María y Erlan, mi hermana y a mi esposa por el interés incondicional que han demostrado en el transcurso de mi carrera, a todos mis amigos que me brindaron su apoyo fraternal, a toda mi familia y de forma general a aquellos que han hecho posible la realización de este trabajo.

Agradezco a mis tutores Ing. Yordan Guerrero Rojas e Ing. Nordis Lamoru Matos por su paciencia, ayuda y dedicación para que fuese posible llegar hasta el final de este trabajo.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que con mucho amor y apoyo hicieron posible su realización.

A mis padres María y Erlan por el esfuerzo y paciencia durante la carrera, a mi esposa por su entera confianza y amor brindado durante todo este tiempo, a mi hermana, suegros, familia en general, a mis compañeros de aula y a todos mis amigos.

Y de forma especial a mis abuelos Gabriel y Pilar que me inculcaron desde pequeño el estudio y la buena educación para llegar hacer un profesional ejemplar.

Pensamiento

“Difícil la misión del que olvidado por las penosas rutas de la mar sabe ser el timón del embarcado”.

José Martí

Índice

<i>Declaración de Autoridad</i>	I
<i>Agradecimientos</i>	II
<i>Dedicatoria</i>	III
<i>Pensamiento</i>	IV
<i>Summary</i>	VIII
Introducción general	1
Problema Científico –Técnico.	1
Hipótesis	1
Objetivo general.....	2
Tareas de la investigación.....	2
Capítulo 1. Fundamento teórico-investigativo.....	3
1.1 Introducción.	3
1.2 Antecedentes.	3
1.3 Herramientas y métodos.....	5
1.3.1 Método de cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección de dispositivos de protección.....	5
1.3.2 Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a sus condiciones de empleo.	7
1.3.3 Selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento.	8
1.3.4 Selección del calibre del conductor por caída de voltaje.	10
1.3.5 Selección del calibre del conductor por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito..	12
1.4 Análisis de eficiencia en motores asincrónicos.....	13
1.4.1 Diagrama energético del Motor de Inducción.....	13
1.4.2 Características de trabajo del Motor de Inducción.....	15
1.5 Normas de selección de protección para bajas tensiones.....	19
1.5.1 Interruptores automáticos.....	20
1.6 Métodos de compensación de potencia reactiva.	24
1.6.1 Compensación de potencia reactiva usando condensadores de potencia estática.....	25
1.6.2 Compensación de Potencia Reactiva Usando Convertidores Auto-Conmutados.....	28
1.7 Conclusiones.	28
Capítulo II. Instalación objeto de estudio.	29
2.1 Introducción.	29
2.2 Descripción de la instalación objeto de estudio.	29
2.2.1 Verificación inicial de una instalación.....	30
2.3 Sistema de Suministro Eléctrico actual.....	31
2.3.1 Levantamiento de cargas instaladas.....	34
2.3.2 Comportamiento de las principales magnitudes eléctricas de la instalación en los ramales principales y los equipos de mayor demanda.....	35
2.3.3 Estado de las pizarras de los cuartos de control.....	38
2.3.4 Estado de los conductores de la instalación.....	38
2.3.5 Estado de los dispositivos de protección.....	39
2.3.6 Evaluación del sistema de iluminación.....	40
2.3.7 Historial de facturas de electricidad.....	42
2.3.8 Pérdidas de transformación actuales.	44

2.4	Esquemas eléctricos.....	45
2.4.1	Esquemas de los principales paneles eléctricos.....	46
2.5	Conclusiones.....	48
Capítulo III.	Análisis de los resultados.....	49
3.1	Introducción.....	49
3.2	Análisis de las mediciones realizadas en el nodo principal, los ramales principales y los equipos de mayor demanda.....	49
3.3	Análisis de las facturas de electricidad.....	50
3.4	Selección de conductores.....	53
3.5	Selección de dispositivos de protección.....	56
3.6	Propuesta del banco de condensadores.....	59
3.7	Medidas de mejora de la eficiencia en la instalación. (Cambio de motores, mejora factor de potencia).....	62
3.8	Instalación del banco de condensadores.....	62
3.9	Monolineal de la instalación objeto de estudio.....	64
3.10	Valoración económica.....	65
3.11	Gastos de Montaje.....	65
3.12	Inversión Total.....	66
3.13	Ahorro en Pérdidas Eléctricas.....	67
3.14	Tiempo de recuperación de la inversión.....	68
3.15	Conclusiones.....	68
Conclusiones Generales		69
Recomendaciones.....		70
Bibliografía		71
Anexos		74

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad identificar y reducir los principales problemas que conllevan al elevado importe en electricidad en la Planta de Beneficio de Áridos en la localidad de Miguel, Sagua de Tánamo.

En el primer capítulo se aborda el fundamento teórico-investigativo con las expresiones y consideraciones necesarias para el desarrollo del trabajo.

Al segundo capítulo corresponde el análisis del consumo del portador energético electricidad en la planta y sus costos asociados, se proponen las medidas para mejorar o elevar el factor de potencia de la planta y con este el de la instalación. Se efectúan mediciones en la barra principal y en los equipos principales.

En el tercer capítulo se realiza el análisis de los resultados, valorando las mediciones en diferentes nodos, se realiza el monolineal de la instalación y se proponen medidas para reducir el consumo de electricidad.

Summary

The present work has as objective to identify and to reduce the main problems that provoke high electricity cost in the Benefit Plant in Miguel's town, Sagua de Tánamo.

In the first chapter the theoretical-investigative fundamentation is approached with the expressions and necessary considerations for the development of the work.

The second chapter is about the analysis of the electric power consumption in the plant and their associate costs, the measures to improve or to elevate the power factor of the plant and the installation, are proposed. Measurements in the main bar and in the main devices are made.

In the third chapter the analysis of the results its made, considering the measurements in the different nodes, the single line scheme is done and advices to reduce the electricity consumption is proposed.

Introducción general

Resulta imprescindible en la situación actual de la economía de nuestro país la reducción de la demanda, del consumo de energía, de los costos asociados con ellos y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicios. En nuestro país se han llevado a cabo vigentes esfuerzos encaminados a elevar la eficiencia de los procesos productivos de las diferentes ramas industriales, con vista a alcanzar los más altos rendimientos económicos. Los portadores energéticos podrán utilizarse eficazmente con la aplicación de medidas que son realizables desde el punto de vista técnico, lo que tiene suma importancia en el sector de los servicios. La utilización racional de la energía requiere de métodos racionales que enfoquen la solución del sobre-consumo, excesos de pérdidas y explotación de las instalaciones en el ámbito técnico, económico y ambiental.

Problema Científico –Técnico.

El elevado importe de la energía eléctrica en La Planta de Beneficio Árido de La ECRIN en Miguel Sagua, para la potencia instalada actual, requiere de un análisis energético capaz de identificar las principales causas de este problema.

Cabe destacar que aunque se realizan enormes esfuerzos en la disminución de los consumos energéticos, se han presentado problemas con el ahorro de energía eléctrica, resultado del creciente mal estado del equipamiento y las instalaciones, la carencia de recursos para acometer las inversiones necesarias, ha llevado a la necesidad de implementar un sistema de gestión que permita realizar las inversiones a partir de prioridades, detectar y utilizar las reservas energéticas relacionadas con problemas organizativos, de explotación y de conciencia de ahorro.

Hipótesis

- Al realizar el estudio de las cargas y las variables eléctricas y no eléctricas que influyen en la eficiencia energética de La Planta de Beneficio Árido de La ECRIN en Miguel, se podrá reducir los gastos por concepto de energía eléctrica a niveles adecuados para las condiciones de La Planta.

Objetivo general

- Identificar y reducir los principales problemas que conllevan al elevado importe en electricidad de La Planta de Beneficio Árido de Miguel, Sagua de Tánamo.

Tareas de la investigación

- Caracterizar las cargas instaladas en la planta de beneficio de áridos.
- Identificar los principales problemas energéticos.
- Realizar las mediciones necesarias.
- Proponer soluciones para mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta.
- Realizar el monolineal de La Planta.

Capítulo 1. Fundamento teórico-investigativo.

1.1 Introducción.

En este capítulo se realiza una breve reseña de los estudios antes realizados, relacionados con el análisis energético y fundamentalmente en la planta objeto de estudio. Se expondrán los métodos y herramientas a utilizar en dicho estudio. Se analiza el método de cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección de dispositivos de protección, la selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento, por caída de voltaje y por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito, además del análisis de eficiencia en motores asincrónicos y las normas de selección de protecciones para baja tensión.

1.2 Antecedentes.

En la actualidad otras entidades han sido objeto de estudios en materia de eficiencia energética, demostrando los resultados alcanzados en el ahorro de portadores energéticos, llevando a cabo medidas para el mejoramiento de la eficiencia y la productividad, resulta un importante ejemplo el estudio de eficiencia energética realizado en el Combinado Lácteo “Rafael Freire Torres de Holguín (SÁNCHEZ TORRES, 2003), en el cual se amplían temáticas como propuestas de cogeneración de energía eléctrica mediante fuentes alternativas.

En este análisis se logró efectuar una estrecha relación entre la eficiencia energética y la competitividad, podemos afirmar que la mejora de la calidad, eleva la productividad y la competencia en calidad y precio.

Con los resultados de diagnóstico energético, es posible mejorar el funcionamiento del sistema y aumentar la eficiencia del mismo.

En otro estudio realizado en el Combinado de Helados y Quesos de la provincia de Granma en el mes de mayo del año 2009, se mejoran los consumos por concepto de energía eléctrica tras la actual crisis económica que afecta al mundo y a nuestro país. Entre las variantes adoptadas está la paralización por dos horas en el horario pico de los agitadores de los tanques de envejecimiento de la mezcla del helado, lo antes expuesto no daña la calidad del producto por lo que se estima un ahorro de 6 MWh al mes, las calderas operan en la medida que se necesite y requiera el vapor en cada área. Mediante estas opciones la empresa ahorra cerca de 11 MWh al mes.

La Comisión Internacional de Energía en Cuba (BORROTO NORDELO, 2006), esclareció que por esta vía, con inversiones menores y de rápida recuperación (menores de 1,5 años) se podrá ahorrar al año el 5% del consumo del país. Más del 45% de este ahorro se obtendría en el sector residencial y de servicios, y casi un 10% en el transporte.

Se puede decir que en Cuba, las actividades industriales con mayores potenciales son: el níquel, el cemento, el acero, la generación eléctrica, la refinación de petróleo y en menor medida las industrias alimenticias y el papel.

Levantamiento de cargas de la Planta de Beneficio Árido de Miguel, Sagua de Tánamo. [Almaquer Yuri, 2009]

Al realizar las mediciones de potencias instalada en la Planta de Áridos de Sagua, se encontraron algunas deficiencias, las instalaciones industriales deben tener un factor de potencia entre 0.92 y 0.96 para no ser penalizadas por la OBE y esta Planta está en 0.61 debido a las siguientes razones:

- Los motores instalados en el molino primario y el remolador son de 55 kW y por cálculo necesitan 40 kW.
- Los motores del molino primario y el remolador operan en un régimen de trabajo variable (de un 20% a un 30%) que depende de la granulometría de las rocas y solo demandan el 100% de su potencia en el momento de arranque con carga. Necesitan compensador de reactivo.
- Los motores de algunos transportadores están sobredimensionados.
- El motor de la bomba de agua está sobredimensionado.
- No existe ningún dispositivo compensador de reactivo en la planta.

Debido a estos problemas se sugieren algunas medidas para mejorar el factor de potencia de la planta:

- Sustitución de los motores sobredimensionados.
- Sustituir la bomba de agua instalada en el río por una bomba de pozo Artesiano (Se hizo una inversión para construir el pozo y nunca se adquirió la bomba de 36 kW).
- Acomodo de cargas y reparar la pizarra de control de motores.
- Instalar algún dispositivo compensador de reactivo.
- Mantener la disciplina tecnológica (No hacer cambios de motores de forma deliberada).

1.3 Herramientas y métodos.

En el presente epígrafe se expone los principales métodos y herramientas para el análisis adecuado en la selección de los dispositivos de protección, en la selección del conductor atendiendo las condiciones de calentamiento, la caída de voltaje y por la estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito.

1.3.1 Método de cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección de dispositivos de protección.

El cálculo de la corriente de cortocircuito es realizado con la finalidad de determinar la capacidad de los dispositivos de protección que van hacer conectados en la planta nos apoyamos en el método de sistema de unidades relativas (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 partimos del siguiente razonamiento:

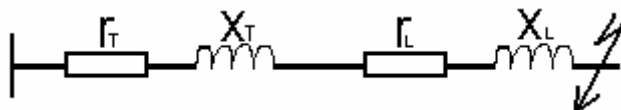


Figura.1.1 Esquema del tramo de una fase cortocircuitada en un punto de la línea.

Donde:

$r_T \rightarrow$ Resistencia del transformador.

$r_L \rightarrow$ Resistencia de la línea.

$x_T \rightarrow$ Reactancia del transformador.

$x_L \rightarrow$ Reactancia de la línea.

Estas magnitudes son obtenidas por datos de chapa del transformador, y por catálogos de conductores.

Partiendo de los datos obtenidos fueron seleccionadas las magnitudes bases las cuales son, potencia base S_b y el voltaje base V_b . A partir de estas magnitudes podemos determinar la corriente de cortocircuito, para lo cual partimos de las expresiones que son mostradas a continuación:

$$S_b = \sqrt{3} * V_b * I_b$$
$$Z_b = \frac{V_b \text{ fase}}{I_b \text{ fase}} \quad (1.3.1)$$

Luego se determina:

$$r_{T*} = \frac{r_T}{Z_B} \quad ; \quad x_{T*} = \frac{x_T}{Z_B} \quad ; \quad r_{L*} = \frac{r_L}{Z_B} \quad ; \quad x_{L*} = \frac{x_L}{Z_B} \quad (1.3.2)$$

Con estos resultados determinamos la I_{cc} en valores por unidad, a partir de unas series de expresiones que son mostradas a continuación:

$$I_{cc} \frac{V}{Z_{cc}} \rightarrow Z_{cc} = \sqrt{r_{cc}^2 + x_{cc}^2} \quad (1.3.3)$$

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

$$r_{CC} = r_T + r_L \quad ; \quad x_{CC} = x_T + x_L \quad (1.3.4)$$

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

$S_b \rightarrow$ Potencia aparente base.

$Z_b \rightarrow$ Impedancia base.

$r_{T*}, x_{T*} \rightarrow$ Resistencia y reactancia del transformador expresadas en unidad relativa, referidas a las condiciones bases.

$r_{CC}, x_{CC} \rightarrow$ Resistencia y reactancia de cortocircuito.

Z_{cc} Impedancia de cortocircuito.

I_{cc} Corriente de cortocircuito.

1.3.2 Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a sus condiciones de empleo.

Para tendidos eléctricos de alta y baja tensión, existen en nuestro país diversos tipos de conductores de cobre, desnudos y aislados, diseñados para responder a distintas necesidades de conducción y a las características del medio en que la instalación prestará sus servicios.

La selección de un conductor se hará considerando que debe asegurarse una suficiente capacidad de transporte de corriente, de soportar corrientes de cortocircuito, una adecuada resistencia mecánica y un comportamiento apropiado a las condiciones ambientales en que operará.

Conductores de cobre desnudos.

Estos son alambres o cables y son utilizados para:

- Líneas aéreas de redes urbanas y suburbanas.
- Tendidos aéreos de alta tensión a la intemperie.
- Líneas aéreas de contacto para ferrocarriles y trolley-buses.

Alambres y cables de cobre con aislamiento.

Estos son utilizados en:

- Líneas aéreas de distribución y potencia, empalmes, etc.
- Instalaciones interiores de fuerza motriz y alumbrado, ubicadas en ambientes de distintas naturaleza y con diferentes tipos de canalización.
- Tendidos aéreos en faenas mineras (grúas, perforadoras, etc.).
- Tendidos directamente bajo tierra, bandejas o ductos.
- Minas subterráneas para piques y galerías.
- Control y comando de circuitos eléctricos (subestaciones, industriales, etc.).
- Tendidos eléctricos en zonas de hornos y altas temperaturas.
- Tendidos eléctricos bajo el agua (cable submarino) y en barcos (conductores navales).
- Otros que requieren condiciones de seguridad.

1.3.3 Selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento.

Un conductor eléctrico de una sección transversal determinada, puede resistir ciertos valores de corriente máxima, para una temperatura ambiental dada. Magnitudes de corriente por encima del especificado puede producir calentamientos tales que, el conductor sufrirá daños en su envoltura aislante, por lo que es necesario seleccionar un conductor con determinada sección transversal mínima, de modo que pueda soportar sin problema alguno para su aislamiento, la magnitud de corriente requerida.

Se fabrican diferentes aislamientos sobre la base de las diversas condiciones ambientales en que los mismos han de operar.

Seguiremos con la tabla 1.1 las relaciones más utilizadas para la determinación del aislamiento de los conductores más empleados.

Tabla 1.1 Aplicación de conductores eléctricos

<u>Nombre de aislante</u>	<u>Tipo</u>	<u>Temperatura máxima de operación</u>	<u>Aplicaciones y limitaciones</u>
Goma	R	60°C	Localizaciones secas
Goma resistente al calor	RH	75°C	Localizaciones secas
Goma resistente a la humedad	RW	60°C	Localizaciones secas y húmedas.
Goma resistente a la humedad y al calor	RH - RW	60°C	Localizaciones secas y húmedas
		75°C	Localizaciones secas
Goma látex	RU	60°C	Localizaciones secas
Goma látex resistente a la humedad	RUW	60°C	Localizaciones secas y húmedas
Termoplástico	T	60°C	Localizaciones secas
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60°C	Localizaciones secas y húmedas

Se recomienda para condiciones de humedad el aislamiento tipo TW (termoplástico), el cual es el más utilizado, puede soportar una temperatura máxima de 60⁰ C.

Los valores correspondientes al factor F.C que incluye el efecto producido por conductores a través de una misma tubería, son expuestos en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Valores correspondientes al factor F.C.

<u>Número de conductores a través de una misma tubería</u>	<u>F.C</u>
1 a 3	1.0
4 a 6	0.8
7 a 24	0.7
25 a 42	0.6
43 y más	0.5

Los valores correspondientes al factor de corrección de temperatura (F.T) para temperaturas superiores a los 30⁰C, utilizados en conductores de cobre o de aluminio, están en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Valores correspondientes al factor F.T.

<u>Temperatura (°C)</u>	<u>F.T</u>
0 a 30	1.00
31 a 40	0.82
41 a 45	0.71
46 a 50	0.58
51 a 55	0.41

La corriente que puede suponerse circulando por el conductor (I_c) en caso de que existan malas condiciones de operación, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$I_c = \frac{1.25 * I_{c \text{ arg } a}}{F.T * F.C} \quad (1.3.3.1)$$

Donde:

I_{carga} ↔ Corriente que circula a través del conductor hacia la carga, (A).

$F.T$ ↔ Factor de temperatura, (tabla1.3).

$F.C$ ↔ Factor de número de cables por un conducto, (tabla1.2).

1.25 ↔ Factor que brinda un 25 % como margen de seguridad a favor del conductor.

1.3.4 Selección del calibre del conductor por caída de voltaje.

Al diseñar los circuitos; la carga y la longitud del tendido y las distancias entre salidas deben relacionarse a la caída de tensión y la necesidad de proporcionar una capacidad libre (extra) en el circuito para el futuro aumento de la carga. Cada elemento de utilización en el circuito se diseñó para el mejor rendimiento de voltaje particular de funcionamiento, aunque estos dispositivos operarán a cualquier valor dentro de su extensión de tensión, por encima o por debajo de su valor de diseño, ocurrirán muchas veces efectos adversos debido a la operación a tensiones menores que el valor especificado, o a valores muchos más altos que el valor máximo determinado para su tensión extendida.

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. Podemos observar las fórmulas para el cálculo de la sección de los conductores, caída de tensión y pérdida de potencia:

Tabla 1.4 Fórmulas para el cálculo de la selección de los conductores, caída de tensión y pérdida de potencia.

<u>Clase de corriente</u>	<u>Sección</u>	<u>Caída de tensión</u>	<u>Pérdida de potencia</u>
CC y CA monofásica (para cc $\cos\varphi = 1$)	Conocida la intensidad $S = \frac{2L * I * \cos\varphi}{\gamma * e}$	Conocida la intensidad $e = \frac{2L * I * \cos\varphi}{\gamma * s}$	$p = \frac{200P * L}{\gamma * s * U^2 * \cos\varphi^2}$
Trifásica	Conocida la intensidad $S = \frac{\sqrt{3}L * I * \cos\varphi}{\gamma * e}$ Conocida la Potencia $S = \frac{P * L}{\gamma * e * U}$	Conocida la intensidad $e = \frac{\sqrt{3}L * I * \cos\varphi}{\gamma * s}$ Conocida la Potencia $e = \frac{P * L}{\gamma * s * U}$ Conocida la resistencia y reactancia de la línea $e = \sqrt{3} * I * (r \cos\varphi + x \sin\varphi)$	$p = \frac{100P * L}{\gamma * s * U^2 * \cos\varphi^2}$

Donde:

γ = Conductividad: 56 para Cu y 35 para Al.

e = Caída de tensión en la línea (V).

I = Intensidad de corriente total (A).

L = Longitud sencilla de la línea (m).

r = Resistencia de la línea (Ω).

x = Reactancia de la línea (Ω).

$\cos\varphi$ = Factor de potencia en el extremo de la línea.

P = Potencia activa (W) tomada de la línea.

p = Pérdida de potencia en la línea (W).

s = Sección del conductor de fase (mm^2).

U = Tensión (V). Para corriente trifásica es la tensión entre fases.

1.3.5 Selección del calibre del conductor por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito.

Para la selección de la sección térmicamente estable de los conductores del cable, es necesario saber por medio del cálculo correspondiente la corriente estable de cortocircuito y el tiempo posible de ocurrencia de esta corriente a través del cable.

El tiempo se determina por la calibración de la protección que tenga mayor dominio del tiempo (si es que hay varias formas de protección).

La determinación de la sección por estabilidad térmica se determina por la fórmula siguiente:

$$S_{et-c} = a * I_{\infty} * \sqrt{t_r} \quad (1.3.5.1)$$

Donde:

α = Coeficiente de cálculo determinado por la limitación de la temperatura admisible de calentamiento del cable.

El valor del coeficiente de cálculo α y los límites admisibles de la temperatura de calentamiento de los cables ante la presencia de la corriente de c.c. son expuestos en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Valores del coeficiente de cálculo α y límites admisibles de temperatura de calentamiento para cables ante la presencia de la corriente de c.c.

<u>Material de los conductores del cable</u>	<u>Coeficiente (α)</u>	<u>Temperatura Admisible ($^{\circ}\text{C}$)</u>
Cables con conductores de cobre, voltaje hasta 10 kV	7	250
Cables con conductores de aluminio, voltaje hasta 10 kV	12	250

En la confección de la tabla 1.5 fue considerada la condición de que el cable, antes del surgimiento del cortocircuito, no tenía una temperatura superior a la normal. Prácticamente, los cables trabajan siempre con cierta subcarga (excepto en los regímenes anormales) y por ello en la selección de la sección del cable por estabilidad térmica se debe adoptar la sección estándar inmediata menor.

1.4 Análisis de eficiencia en motores asincrónicos.

Según el análisis de la eficiencia de los motores asincrónicos se puede determinar la calidad de trabajo de dichos motores, por tanto se demuestra lo anterior expresado con los siguientes aspectos que continúan.

1.4.1 Diagrama energético del Motor de Inducción.

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.

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

Véase P_1 la potencia eléctrica suministrada al motor (ver Figura.). 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.

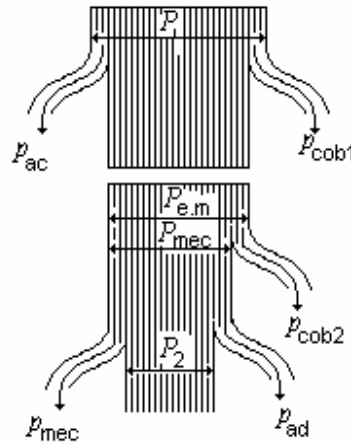


Figura.1.2 Diagrama energético del motor asincrónico.

La potencia electromagnética es:

$$P_{em} = P_1 - P_{cob1} - P_{ac}. \quad (1.4.1.1)$$

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:

$$P_{mec} = P_{em} - P_{cob2}. \quad (1.4.1.2)$$

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_a . 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.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.

$$P_2 = P_{mec} - p_{mec} - p_{ad} \cdot \quad (1.4.1.3)$$

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

$$P_1 = P_{em} + p_{mec.1} + p_{ac}; \quad (1.4.1.4)$$

$$P_{em} = P_{mec} + p_{mec2}; \quad (1.4.1.5)$$

$$P_{mec} = P_2 + p_{mec} + p_{ad} \cdot \quad (1.4.1.6)$$

El rendimiento del motor es:

$$\eta = P_2 / P_1 \cdot \quad (1.4.1.7)$$

1.4.2 Características de trabajo del Motor de Inducción.

Al igual que el motor sincrónico, por característica de trabajo de un motor asincrónico se tiene:

$$n, M, \eta \text{ y } \cos \varphi = f(P_2) \text{ siendo } U_1 = \text{const} f_1 = \text{const}. \quad (1.4.2.1)$$

Perteneciendo además a los índices de importancia el coeficiente de capacidad de sobrecarga k_s y, para los motores en cortocircuito, también el orden de la corriente de arranque y del momento de arranque.

Velocidad de rotación del motor $n = f(P_2)$. De la fórmula para el deslizamiento se desprende que $n = n_1(1 - s)$. (1.4.2.2)

Con la fórmula $P_{cob2} = sP_{em},$ (1.4.2.3)

$$s = p_{cob2} / P_{e.m} \quad (1.4.2.4)$$

El deslizamiento del motor asincrónico numéricamente es igual a la relación de las pérdidas en el devanado del rotor p_{cob2} a la potencia electromagnética P_{em} ; por tanto aquí, $s \approx 0$ y $n \approx n_1$. Mientras que aumenta la carga crece la relación (1.4.2.4), pero, teniendo en cuenta el alto rendimiento del motor, está limitada entre límites bastante estrechos. Habitualmente, a carga nominal, $p_{cob2} / P_{e.m} \approx p_{cob2} / P_2 = 1,5 - 5$. La cifra menor se refiere a los motores de

mayor potencia, del orden de 3 a 10 kW. La dependencia $n=f(P_2)$ muestra una curva poco inclinada con respecto al eje de abscisas. El motor posee una característica de velocidad del tipo de la característica del motor de corriente continua en derivación.

Dependencia $M=f(P_2)$. en el régimen permanente de funcionamiento $M = M_2 + M_0$, **donde** M_2 es el momento de frenado del motor, y M_0 es el momento en vacío. Pues que al variar la carga en los límites desde la marcha en vacío hasta la nominal la velocidad de rotación de los motores asíncronos permanece casi constante, la dependencia $M=f(P_2)$ del motor asíncrono es casi rectilínea.

Pérdidas y rendimiento del motor. En los motores asíncronos tienen lugar las mismas pérdidas que en otras máquinas eléctricas: pérdidas mecánicas, pérdidas en el acero, pérdidas en el cobre y pérdidas adicionales.

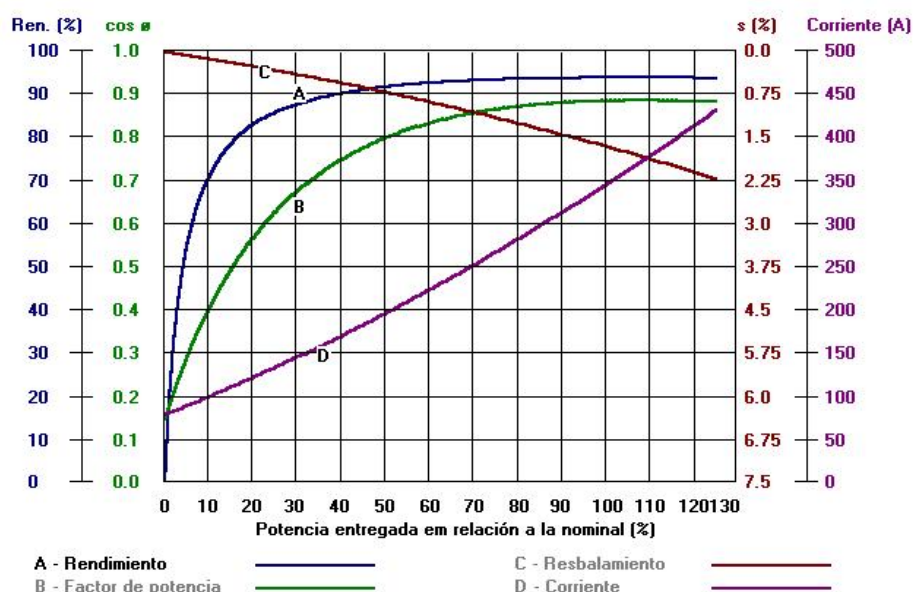


Figura.1.3 Característica de funcionamiento del motor de inducción.

Las pérdidas adicionales forman un grupo particular. Estas se componen de 1) pérdidas adicionales en el cobre y 2) pérdidas adicionales en el acero. En esta situación de tensión sinusoidal en los bornes del motor las pérdidas adicionales en el cobre aparecen en parte bajo la influencia de los armónicos superiores de f.m.m., y en parte como respuesta del efecto de desplazamiento de la corriente.

Las pérdidas adicionales en el cobre por causa de los armónicos superiores de f.m.m. tienen lugar principalmente en los devanados del rotor en jaula de ardilla. Al girar el rotor en los campos magnéticos formados por los armónicos superiores de la f.m.m. del estator, en el devanado del rotor aparecen corrientes de frecuencia que se distingue de la frecuencia de deslizamiento y que depende de la velocidad de rotación del rotor. Para disminuir estas pérdidas se práctica:

- 1) El acortamiento del paso del devanado del estator, que conduce a la disminución de los armónicos superiores de f.m.m.
- 2) Al biselado de las ranuras del rotor respecto de las ranuras del estator, que desempeñan el mismo papel que el acortamiento del paso.
- 3) La elección adecuada de los números de ranuras en el estator y en el rotor Z_1 y Z_2 El análisis muestra que si las pérdidas adicionales en el rotor no deben sobrepasar del 10% de las pérdidas fundamentales provocadas por el primer armónico de la corriente, en este caso de ranuras no biseladas

$$Z_2 \leq \frac{4}{3} Z_1.$$

El fenómeno de desplazamiento de la corriente se aprecia en los devanados del estator y en los devanados del rotor, particularmente en el rotor en jaula de ardilla. Este fenómeno puede ser empleado para mejorar las características de arranque de los motores con rotor en cortocircuito. Pero durante el funcionamiento normal la frecuencia de la corriente en el rotor habitualmente no sobrepasa de 3 Hz. En estas condiciones el desplazamiento de la corriente prácticamente no se nota.

Por lo que las pérdidas adicionales por los armónicos superiores de f.m.m. se crean por corrientes de frecuencia diferente de la frecuencia del primer armónico de corriente, las que se cubren con la potencia mecánica desarrollada por el motor.

Con bastante exactitud las pérdidas adicionales en el cobre varían proporcionalmente al cuadrado de la corriente.

Las pérdidas adicionales en el acero de las máquinas asíncronas se componen, tanto como en las máquinas sincrónicas, de a) pérdidas por pulsación y b) pérdidas superficiales.

Las pérdidas por pulsación son causadas por las pulsaciones longitudinales del flujo magnético como resultado de la variación de la permeancia, condicionada por la variación continua de la posición mutua de los dientes del estator y el rotor al girar este último. La

frecuencia de pulsaciones en el estator $f_{d2}=Z_1n$ donde Z_1 y Z_2 son los números de ranuras en el estator y en el rotor y n es la velocidad de rotación del rotor.

Las pérdidas superficiales están condicionadas por el hecho de que bajo la influencia de las ranuras la distribución de la inducción en el entrehierro resulta no uniforme. La frecuencia de las pulsaciones superficiales es la misma que la de las pulsaciones en los dientes. El estudio muestra que las pérdidas superficiales dependen de la frecuencia a la potencia 1,5 y del cuadrado del valor medio de la inducción en el entrehierro.

Puesto que las pérdidas adicionales en el acero poseen una frecuencia diferente de la principal, ellas se cubren a cuenta de la potencia mecánica desarrollada por el motor.

Las pérdidas adicionales en el acero varían proporcionalmente al cuadrado de la tensión aplicada al motor.

Con el nivel de precisión que se calculan las pérdidas adicionales es relativamente pequeño. Por lo que usualmente se tienen en cuenta aproximadamente, con un tanto por ciento determinados de la potencia útil al funcionar la máquina como generador o de la potencia aplicada al funcionar la máquina como motor. De acuerdo con el Standard de Estado de la URSS 183-66 las pérdidas adicionales p_{ad} en las máquinas asincrónicas a carga nominal representan un 0,5% de la potencia aplicada. Pero se debe tener en cuenta que este valor es una cifra media establecida por vía experimental, de la cual en toda una serie de casos se observan desviaciones considerables.

Las pérdidas totales en el motor son:

$$\sum p = p_{cob\ 1} + p_{cob\ 2} + p_{ac} + p_{mec} + p_{ad} \cdot \quad (1.4.2.5)$$

En las cargas en los límites desde la marcha en vacío hasta la nominal, por p_{ac} debe comprenderse sólo las pérdidas en el acero del estator, pues para frecuencias ordinarias en el rotor (1-3Hz) las pérdidas en su acero son infinitamente pequeñas.

Al aumentar la carga la suma de las pérdidas $p_{ac}+p_{mec}$ disminuye algo debido la disminución del flujo principal, así como de la disminución de la velocidad de rotación. Usualmente estas pérdidas se incluyen en las pérdidas constantes del motor.

En contradicción con las pérdidas en el acero, las pérdidas en el cobre varían proporcionalmente al cuadrado de la corriente.

Las pérdidas adicionales, dependen en parte de la corriente y en parte de la tensión. Para simplicidad se establece que estas pérdidas varían proporcionalmente a la potencia aplicada.

Pensando igual que en el caso de consideración de las máquinas de corriente continua, obtenemos que el máximo de rendimiento se alcance cuando son iguales las pérdidas constantes y variables; así pues, redistribuyendo correspondientemente las pérdidas podemos obtener motores con distintas curvas de rendimiento.

Factor de potencia $\cos \varphi = f(P_2)$. El motor asincrónico igual que el transformador, consume de la red corriente retrasada que casi no depende de la carga. Por eso su $\cos \varphi$ es siempre menor de la unidad. En marcha en vacío $\cos \varphi$ usualmente no sobrepasa de 0,2, pero después, bajo carga, aumenta bastante rápido y llega al máximo cuando la potencia es próxima a la nominal. Al seguir aumentando la carga disminuye la velocidad del motor, correspondientemente a lo cual aumenta el ángulo $\psi_2 = \arctg(sx_2)/r_2$ y disminuyen el $\cos \varphi_2$ y el $\cos \varphi$. La variación del $\cos \varphi$ para los motores de distintos tipos. Los motores de rotor en cortocircuito de gran potencia se fabrican como motores de corrientes Foucault o de doble jaula de ardilla, y su $\cos \varphi$ es algo menor que en los motores de jaula de ardilla de igual potencia.

Capacidad de sobrecarga del motor. Se llama capacidad de sobrecarga del motor asincrónico a la relación del momento máximo del motor a su momento nominal, es decir,

$$k_m = M_{\text{máx}} / M_n. \quad (1.4.2.6)$$

Usualmente en los motores de pequeña y media potencia $k_m = 1.6-1.8$. En los motores de media y gran potencia $k_m = 1.8-2.5$ en los motores especiales k_m alcanza 2,8-3,0 y más.

[KOSTENCO, 1982]

1.5 Normas de selección de protección para bajas tensiones.

El software especializado en instalaciones eléctricas se utiliza cada vez más para la selección óptima de los dispositivos de protección y seccionamiento de baja tensión. Cada circuito se considera de forma individualizada y se prepara una lista con las funciones de protección necesaria y el tipo de explotación de la instalación. Tabla 1.6.

Tabla 1.6 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> I_n (A).	<u>Corriente infusible convencional</u> $I_{nf.}$	<u>Corriente fusible convencional</u> I_f ó I_2	<u>Tiempo máximo convencional</u> (h)
$I_n \leq 4$ A	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1
$4 < I_n \leq 16$ A	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3

Se estudia una serie de combinaciones de dispositivos y se comparan con criterios correspondientes con el fin de conseguir lo siguiente:

- Rendimiento satisfactorio.
- Compatibilidad entre los elementos individuales, desde la corriente nominal I_n a la especificación a nivel de defecto I_{cu} .
- Compatibilidad con los dispositivos situados aguas arriba, o tener en cuenta su aporte.
- Conformidad con todas las normativas y especificaciones relativas al rendimiento seguro y fiable de los circuitos.

1.5.1 Interruptores automáticos.

Como se muestra en la Tabla 1.7 el interruptor automático/seccionador es la única aparamenta capaz de satisfacer todas las funciones básicas necesarias en una instalación eléctrica.

Tabla 1.7 Corrientes de ensayo y límites de I^2t para el ensayo de verificación de la selectividad de los cartuchos fusibles de cuchillas.

I_n	Valores mínimos de I^2t de prearco.		Valores máximos de I^2t de funcionamiento total	
	Valores eficaces de I prevista.	I^2t	Valores eficaces de I prevista.	I^2t
A	kA	A ² s	kA	A ² s
16	0,270	291	0,550	1 210

20	0,400	640	0,790	2 500
25	0,550	1 210	1,000	4 000
32	0,790	2 500	1,200	5 750
40	1,000	4 000	1,500	9 000
50	1,200	3 750	1,850	13 700
63	1,500	9 000	2,300	21 200
80	1,850	13 700	3,000	36 000
100	2,300	21 200	4,000	64 000
125	3,000	36 000	5,100	104 000
160	4,000	64 000	6,800	185 000
200	5,100	104000	8,700	302 000
224	5,900	139000	10,000	412 000
250	6,800	185000	11,800	557 000
315	8,700	302000	15,000	900 000
400	11,800	557000	20,000	1 600 00

Estos tipos de fusibles son limitadores de alta capacidad interruptiva. Para que exista selectividad entre dos fusibles el valor I^2t de funcionamiento total del fusible más cercano al punto de falla no debe exceder el valor I^2t de prearco del fusible situado aguas arriba. La selectividad frente a sobreintensidades bajas, hasta unas $10 I_n$ se comprueba con las características tiempo-corriente. [Reglamento Electrotécnico Cubano 2008]

Mediante unidades auxiliares, puede proporcionar otras muchas funciones, como por ejemplo señalización (abierto/cerrado, disparo por defecto), disparo por mínima tensión, debido a estas funciones, un interruptor automático/seccionador es la aparamenta de cualquier instalación eléctrica.

Normas.

Para instalaciones industriales de baja tensión, las normas IEC de aplicación son las siguientes:

- IEC 60947-1:2004, Parte 1: Reglas generales.
- IEC 60947-2:2006, Parte 2: Interruptores automáticos.
- IEC 60947-3:2005, Parte 3: Interruptores, seccionadotes, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.

- IEC 60947-4-1:2002, Parte 4: Contactores y arrancadores de motor.
- IEC 60947-5-1:2003, Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando.
- IEC 60947-6-1:2005, Parte 6: Materiales de funciones múltiples.
- IEC 60947-7-1:2002, Parte 7: Materiales y accesorios.

Para instalaciones de baja tensión doméstica y similar, la norma adecuada es la IEC 60898. Los interruptores automáticos de uso doméstico (Figura 3) que cumplen la norma IEC 60898 realizan las siguientes funciones básicas: segregación y protección contra sobreintensidad.



Figura. 1.4 Interruptor automático magnetotérmico que proporciona funciones de protección contra sobrecorrientes y de segregación de circuitos (derecha).

Se pueden añadir otras funciones al interruptor automático básico mediante módulos adicionales, como se muestra en la Figura.1.4, en particular, control remoto e indicación (activado-desactivado-defecto).

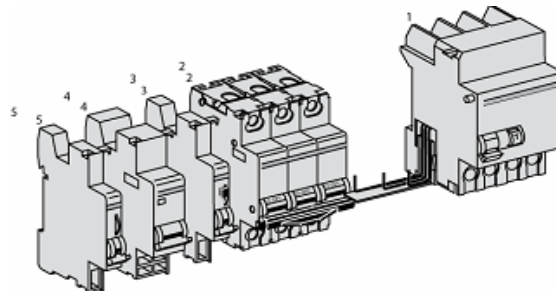


Figura.1.5 Sistema “multi 9” de componentes modulares para dispositivos de baja tensión.

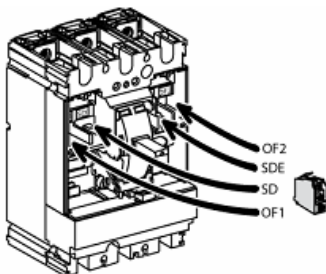


Figura.1.6 Ejemplo de un interruptor automático modular (Compact NS) de uso industrial capaz de realizar numerosas funciones auxiliares. Cumplen la norma IEC 60947-2 y que, mediante bloques adaptables asociados, ofrecen una gama de funciones auxiliares similares a las descritas anteriormente.

Los interruptores automáticos industriales de gran resistencia con elevadas corrientes nominales y que cumplen la norma IEC 60947-2 disponen de numerosas funciones de comunicación y electrónicas incorporadas (Figura.1.7).



Figura.1.7 Ejemplos de interruptores automáticos industriales de gran resistencia. El “Masterpact” proporciona numerosas funciones de automatización en su módulo de disparo “Micrologic”

Tabla 1.8 Márgenes de corriente de disparo de los dispositivos de protección contra Sobrecargas y cortocircuitos para los interruptores automáticos de baja tensión.

	Tipo de relé Protector.	Protección contra Sobrecargas.	Protección contra cortocircuitos.		
Interruptores automáticos de uso doméstico IEC 60898	Magneto-Térmico	$I_r = I_n$	Ajuste bajo tipo B $3 I_n \leq I_m < 5 I_n$	Ajuste estándar tipo C $5 I_n \leq I_m < 10 I_n$	Ajuste alto tipo D. $10 I_n \leq I_m < 20 I_n$ (1)
Interruptores automáticos industriales (2) Modulares.	Magneto-Térmico	$I_r = I_n$ fijo.	Ajuste bajo tipo B o Z $3,2 I_n < \text{fijo} < 4,8$	Ajuste estándar tipo C $7 I_n < \text{fijo} < 10 I_n$	Ajuste alto tipo D o K $10 I_n \leq \text{fijo} < 14 I_n$
Interruptores automáticos industriales (2) IEC 60947-2	Magneto-Térmico	$I_r = I_n$ fijo	Fijo: $I_m = 7$ a $10 I_n$		
		Ajustable $0,7 I_n \leq I_r < I_n$	Ajustable: Ajuste bajo: de $2 I_n$ a $5 I_n$	Ajuste estándar: de $5 I_n$ a $10 I_n$	
	Electrónico	Disparo por sobrecarga a tiempo largo inverso (L) $0,4 I_n \leq I_r \leq I_n$ Regulación del Tiempo de	Disparo por cortocircuito Selectivo con retardo corto (S), ajustable $1,5 I_r \leq I_{sd} \leq 10 I_r$	Disparo instantáneo (I) ajustable $2 I_n \leq I_i \leq 15 I_n$ $T_i = 0,055s$	Disparo por falla a tierra (G) a tiempo breve inverso, regulable $0,2 I_n \leq I_g \leq I_n$ Regulación del

		operación a $6 I_r$	Regulación del tiempo de operación a $10 I_r$		tiempo de operación a $10 I_r$
		$0,5 s \leq T_r \leq 24 s$	$0,08 s \leq t_{sd} \leq 0,5 s$		$0,08 s \leq t_{sd} \leq 0,5 s$

(1) $50 I_n$ en IEC 60898.

(2) Las normas de IEC no especifican valores para uso industrial en los interruptores miniatura. Los valores indicados anteriormente son los utilizados habitualmente.

La Tabla 1.9, extraída de la norma IEC 60947-2, muestra la relación entre los valores estandarizados de $\cos \varphi$ y los interruptores automáticos de uso industrial de acuerdo con su valor nominal I_{cu} .

A continuación de una secuencia abrir – retardo – cerrar/abrir para probar la capacidad de I_{cu} de un interruptor automático, se realizan pruebas adicionales para asegurar:

- La capacidad de resistencia dieléctrica.
- El rendimiento de desconexión (segregación) y que el correcto funcionamiento de la protección contra sobrecargas no se haya visto afectado por la prueba.

Tabla1.9 Relación entre I_{cu} y el factor de potencia ($\cos \varphi$) del circuito de corriente de defecto (IEC 60947-2)

I_{cu}	$\cos \varphi$
$6 \text{ kA} < I_{cu} \leq 10 \text{ kA}$	0,5
$10 \text{ kA} < I_{cu} \leq 20 \text{ kA}$	0,3
$20 \text{ kA} < I_{cu} \leq 50 \text{ kA}$	0,25
$50 \text{ kA} < I_{cu}$	0,2

1.6 Métodos de compensación de potencia reactiva.

Las compañías de electricidad proporcionan estructuras que están compuestas de dos componentes principales: carga demandada y carga de energía. La primera es el resultado de la inversión en equipos para conocer la cantidad de potencias total del consumidor. La segunda es el resultado del combustible que debe venderse para generar la energía usada.

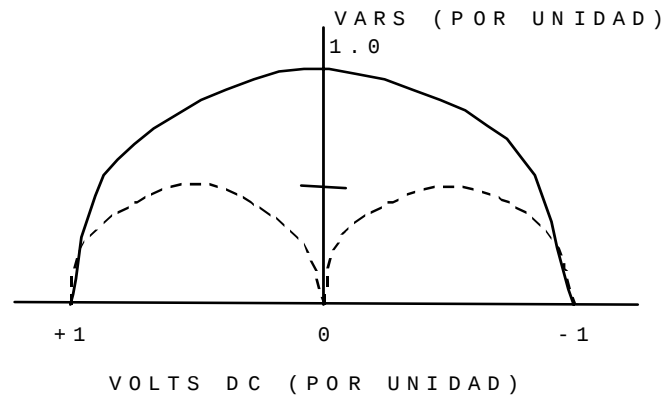


Figura.1.8 Potencia Reactiva VS Voltios. DC Convertidor.

La carga total (kVA) está compuesta por dos componentes en cuadratura: la potencia activa (kW) y la potencia reactiva (kVAR), (ver Figura.1.9). Si los kVA pueden ser reducidos por el ajuste local de la potencia reactiva, la carga demandada puede ser minimizada.

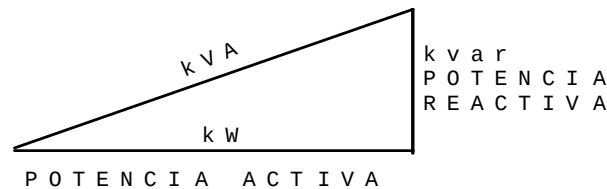


Figura.1.9 Relación entre Kw y KVar.

Las fuentes de potencia reactiva son:

- Condensadores de potencia estática.
- Maquinas sincrónicas.
- Convertidores de potencia estática con conmutación forzada.

1.6.1 Compensación de potencia reactiva usando condensadores de potencia estática.

Los condensadores de potencia son fuentes baratas de potencia reactiva. Ellos proporcionan VARS que son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado. Estos VARS causan un aumento del voltaje a través de la reactancia inductiva del sistema de potencia, lo que aumenta los niveles del voltaje de operación. Los condensadores pueden ser cambiados en orden para controlar el voltaje y proporcionar potencia reactiva variable.

Usan condensadores cuatro métodos para el control de VARs los cuales son:

- Conmutación por interruptores de circuitos de potencias, conmutadores de circuitos, o conmutadores de vacío.
- Tiristor con control de fase opuesta conmutando con un reactor en paralelo con el banco de condensadores.
- Tiristor opuesto con conmutación de condensadores que encienden o apagan a corriente cero.
- Reactor saturable en paralelo con el banco de condensadores.

Por tanto la conmutación de condensadores de potencia por interruptores del circuito, o en vacío, para controlar la potencia reactiva en una base continua, la conmutación de condensadores de potencia por interruptores del circuito, conmutadores del circuito, o de vacío requiere un dispositivo de conmutación que pueda ser operado frecuentemente y pueda interrumpir a corriente cero con un alto voltaje en los contactos sin reencendido, por dicha causa este método es usado solo para conmutar grandes bancos una o dos veces al día. El dispositivo posee un requerimiento especial que es activo para interrumpir una corriente que adelanta al voltaje en 90° . Cuando estas limitaciones no son una operación desventajosa, éste método de control de VARs es más económico. (Figura.1.10)

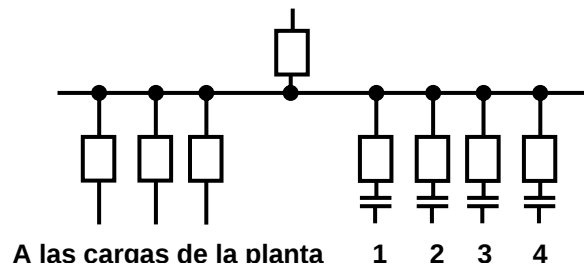


Figura.1.10 Conmutación de condensadores en valores binarios.

El control de fase opuesta de un reactor controlado por tiristores en paralelo con condensadores tiene la facilidad de un control de VAR suave sobre el rango de operación del equipo, por la conmutación de la corriente en el reactor, se provienen los problemas con la conmutación del condensador. El control por tiristor de una carga trifásica balanceada causa corrientes armónicas de quinto, séptimo orden, por tanto los condensadores pueden ser divididos en dos o más secciones con el afinamiento de los reactores para filtrar estos armónicos. El rango de VAR del reactor es igual al del condensador para obtener el control completo. (Ver Figura.1.11).

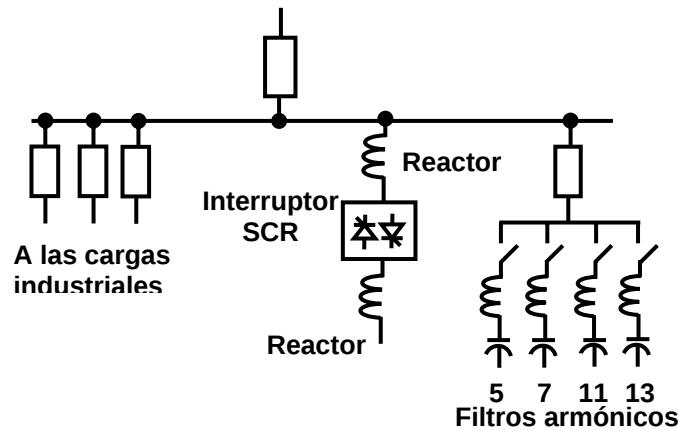


Figura.1.11 Compensador de VAR estático usando un reactor controlado por tiristor.

La conmutación de tiristores opuestos por condensadores a corriente cero deja al condensador cambiar con otro completo positivo o negativo en el condensador, esto elimina algunos transitorios en el sistema. Los condensadores son conmutados en pasos finitos cuando la potencia reactiva es necesaria. La conmutación de los condensadores puede ser afinada con un reactor para filtrar los armónicos en el sistema. (Ver Figura.1.12)

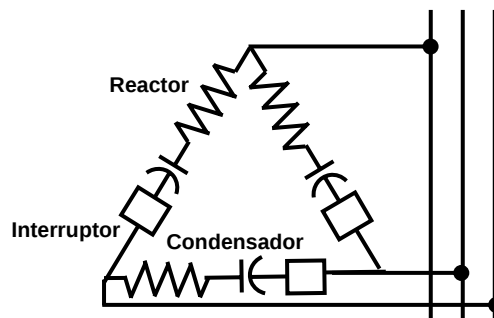


Figura.1.12 Condensador conmutado por tiristor.

Un reactor saturado en paralelo con un banco de condensadores proporciona un var variable que alimenta aquel que no posee circuito de control externo. Este sistema consiste en un reactor auto-saturado en paralelo con un banco de condensadores que puede ser colocado dentro de los circuitos series afinados, el reactor sobre-saturado dibuja corrientes o sobrevoltajes pesados para que la caída de voltaje a través de la reactancia del sistema neutralice el aumento de voltaje en la carga, al disminuir el voltaje del sistema, la corriente de pérdida dibujada por el reactor y los condensadores en paralelo proporcionan los VARs necesarios a la carga.(Ver Figura.1.13).

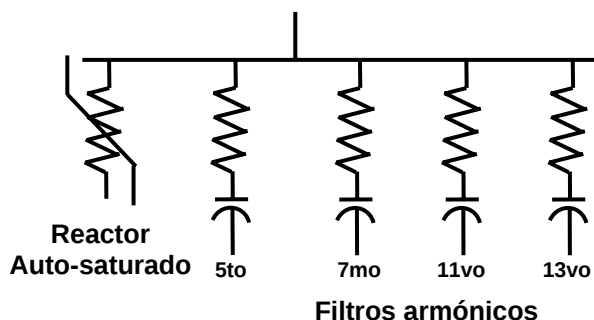


Figura.1.13 Compensación de potencia reactiva usando un reactor saturable.

1.6.2 Compensación de Potencia Reactiva Usando Convertidores Auto-Conmutados.

La técnica de conmutación forzada para una fase diferente ante el voltaje se vuelve más positiva produciendo VArS adelantados. Los convertidores auto-conmutados incorporan su propio medio de conmutación y pueden conmutar independientemente del voltaje de línea. Estos sistemas tienen fuentes de voltaje en lugar de fuentes de corriente, como en la conversión de conmutación lineal. El convertidor auto-conmutado funciona casi igual que un generador de uso convencional; que es, una fuente de voltaje detrás de una impedancia. El voltaje armónico puede ser controlado por el uso de un número de técnicas diferentes de cancelación, tal como multiplicación de pulso y onda de paso, que cancelan el orden menor de los armónicos pares. La inductancia en el lado AC de los convertidores de conmutación forzada ofrece una alta impedancia al paso de altas corrientes armónicas. En casos en que el sistema AC sea relativamente rígido a la reactancia del lado AC, no es requerido ningún control de voltajes armónicos en la barra AC.

1.7 Conclusiones.

En este capítulo se abordaron los conceptos y criterios necesarios para el desarrollo de la presente investigación. Tales como los estudios antes realizados con relación al análisis energético de una empresa. Las herramientas y métodos para el cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección de dispositivos de protección. Para la selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento, por caída de voltaje y por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito. Análisis de eficiencia en motores asincrónicos. Normas de selección de protecciones para baja tensión y métodos de compensación de potencia reactiva.

Capítulo II. Instalación objeto de estudio.

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se expone todo lo relacionado con la instalación objeto de estudio donde se abordará sobre las características de la misma, las condiciones del sistema de suministro eléctrico actual, se realiza el levantamiento de cargas instaladas, el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas de la instalación en los ramales principales y los equipos de mayor demanda, estado de las pizarras de los cuartos de control, de los conductores de la instalación y de los dispositivos de protección. Se realiza evaluación del sistema de iluminación, historial de facturas de electricidad, pérdidas de transformación actuales y esquemas de los principales paneles eléctricos.

2.2 Descripción de la instalación objeto de estudio.

La Planta de Beneficio de Árido se encuentra ubicada en Miguel, en la zona montañosa del municipio de Sagua de Tánamo. La misma dentro de su fuerza de trabajo consta con un jefe de planta, de un operador, dos ayudantes del proceso tecnológico, el operador del cargador frontal, el operador del bulldózer, el operador de la retrocavadora y dos técnicos eléctricos. Su objetivo social se basa en la elaboración de diferentes tipos de medidas de grava y arena para la construcción.

Flujo tecnológico de la planta.

Se hace la extracción del yacimiento con una retrocavadora y se traslada hasta el patio del material bruto, con un cargador se suministra la torva primaria a través de un alimentador de movimiento horizontal llevándola al llamado molino de mandíbula (primario) donde se tritura el material hasta un diámetro regulado, luego se traslada por el transportador primario a la zaranda y la separa con agua a presión comenzando el proceso de lavado separando la arena (0-5,5mm) y la grava tres octavos (5-10mm) del resto del material, cayendo la arena en el sinfín lavador el cual separa la arcilla del material útil, la misma se desecha a través de un tubo hasta una laguna de oxidación, la arena como producción terminada se deposita en una torva para su paso de almacenamiento. La grava tres octavos luego de su clasificación en el paso anteriormente mencionado va a una torva de producción terminada para su posterior almacenamiento. El material superior a los once milímetros se deposita en el transportador de elevación hacia una criba de clasificación separando la grava tres cuartos (11-20mm) y la

de una y media (21-58mm) las que se transportan hacia una torva para su almacenamiento. Las piedras que superan los 38mm caen en un molino de cono el cual la tritura en fragmentos de diferentes tamaños y a través de un transportador se incorporan al proceso inicial junto con el material bruto comenzando el proceso tecnológico. Al finalizarse el proceso se coloca un camión debajo de las torvas de producción terminada para el traslado hasta el lugar de almacenamiento según su clasificación.

2.2.1 Verificación inicial de una instalación.

Estos ensayos se hacen de acuerdo con las regulaciones y normativas vigentes, las que están basadas en reglas rigurosas para el diseño y la ejecución de la instalación. La norma IEC 60364-6 que se basa en un consenso internacional para dichos ensayos, destinadas a cubrir todas las medidas de seguridad y las prácticas de instalación aprobadas normalmente, exigidas para las edificaciones domésticas, comerciales y la mayoría de las industriales. Los ensayos eléctricos previos a la puesta en servicio y las verificaciones visuales para las instalaciones en edificaciones incluyen, típicamente todas las siguientes:

- Ensayos del aislamiento de todos los cables y conductores de la instalación fija, entre los conductores activos y entre los conductores activos y tierra.
- Ensayos de continuidad y de conductividad de los conductores de protección, de equipotencialidad y de unión a tierra.
- Ensayos de resistencia de los electrodos de puesta a tierra con respecto a una tierra remota.
- Comprobación de la sección de todos los conductores de acuerdo a los niveles de corriente de cortocircuito, tomando en cuenta las condiciones (en el aire, en tubería, etc.) de la instalación y de los materiales y dispositivos de protección asociados.
- Verificación de que todas las partes metálicas expuestas y extrañas estén puestas a tierra adecuadamente (donde sea apropiado).

Luego de cumplirse estos requisitos ya está en condiciones de llevar la instalación hasta su máxima explotación. Puesto que la planta de árido no cumple con estos requisitos.

2.3 Sistema de Suministro Eléctrico actual.

La Base de Miguel Sagua cuenta con un sistema de suministro eléctrico un tanto complejo para su estudio. En la misma existe una pizarra de control que cuenta con un breaker principal de la base con 660V y 400A de la cual depende la planta de beneficio árido, un segundo breaker de 660V y 160A que alimenta todas las pizarras de la instalación con la excepción de la arenera y un tercer breaker de 660V y 160A que suministra la alimentación al transformador de 440V a 220V para el alumbrado de la base y las oficinas. (Ver Figura.2.1)

La Planta de Beneficio de Árido cuenta con un breaker general de 500V y 200A que recibe la alimentación procedente del breaker principal de la base y luego se le es aplicada a dos pizarras de control (1 y 2) y al breaker de 660V y 630A para la conexión del sistema de suministro de agua que cuenta con dos motores uno la turbina de 55kW y otro el de rebombeo de 18kW. En la pizarra de control 1 existen un total de cinco breaker. El primero de 500V y 50A controla el funcionamiento de la pizarra, el segundo de 750V y 200A conecta el motor del molino primario (55kW), el tercero de 500V y 80A conecta el motor alimentador (8,5kW), el cuarto de 660V y 8A conecta el motor del transportador primario (7,5kW) y el quinto de 600V y 8A que conecta el motor del transportador de retorno (2,2kW). La pizarra de control 2 cuenta con 11 breaker. El primero de 500V y 50A controla la pizarra, el segundo de 750V y 160A conecta el motor de control hidráulico (7,5kW), el tercero de 500V y 80A conecta el motor de la zaranda 107-CM (5,5kW), el cuarto de 500V y 63A conecta el motor del sinfín (7,5kW), el quinto de 500V y 63A conecta el motor del transportador de una y media (3kW), el sexto de 500V y 63A conecta el motor del transportador de tres cuartos (7,5kW), el séptimo de 500V y 63A conecta el motor de la zaranda CM7-41 (5,5kW), el octavo de 750V y 160A conecta el motor del remolador (55kW), el noveno de 690V y 160A conecta el motor del transportador de arena (5,5kW), el décimo de 750V y 160A conecta el motor del transportador de elevación (7,5kW) y el decimoprimer de 750V y 160A conecta el motor del transportador tres octavo (4kW). (Ver Figura.2.2)

Nota: Los breaker se encuentran enumerados de derecha a izquierda según la posición en las pizarras de control.

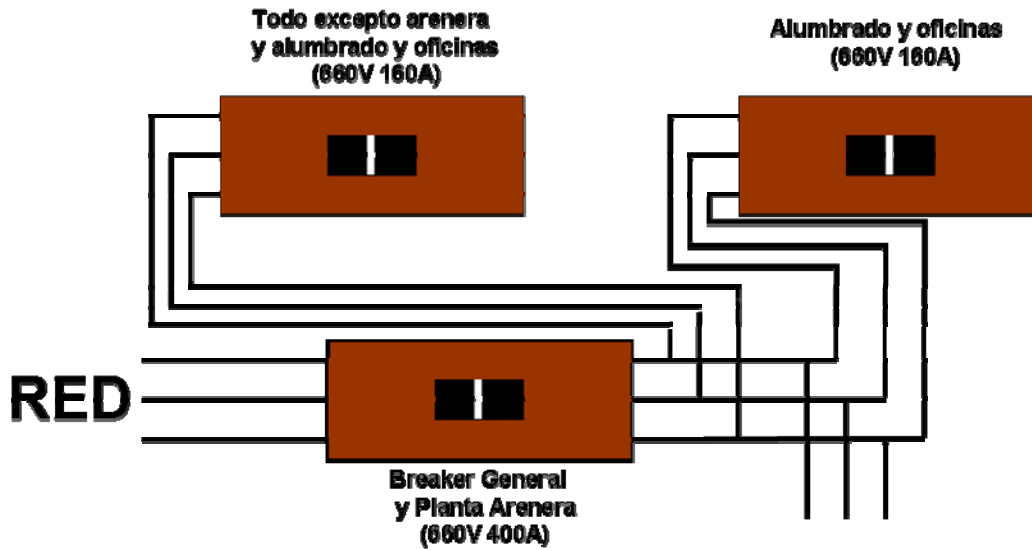


Figura.2.1 Esquema de cuarto de control principal de la instalación.

Este esquema representa los breakers principales de la instalación, a partir de los cuales se alimentan las diferentes áreas, como la planta objeto de estudio. Los dispositivos de protección son de fabricación rusa con corrientes nominales de hasta 400 A para el general, y la planta de áridos y dos de 160 A para alumbrado y oficinas y el resto de las áreas de la instalación. En condiciones normales de trabajo existe riesgo de accidentes por contactos directos e indirectos por parte del personal encargado del mantenimiento y operación de la planta. En condiciones de lluvia los riesgos aumentan pues el local absorbe mucha humedad, lo que disminuye las condiciones de aislamiento, el piso del local está cubierto de arena, carece de aislamiento de gomas u otro material aislante.

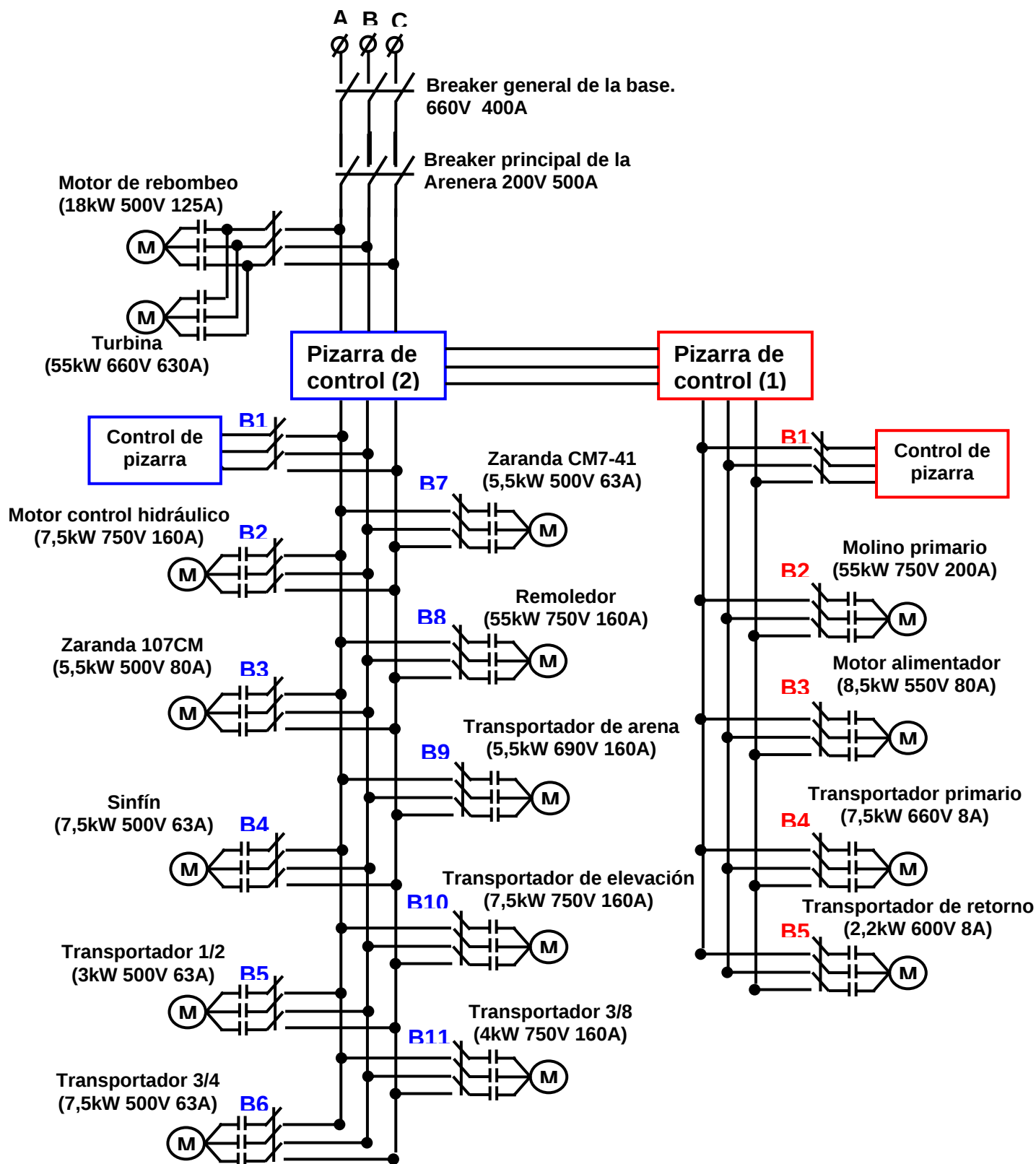


Figura. 2.2 Esquema de suministro eléctrico de La Planta de Beneficio de Árido.

Como se puede apreciar en la figura anterior en la instalación se viola todo lo dispuesto en las normas de protecciones eléctricas con respecto a la: Selectividad, la Sensibilidad, la

Coordinación, y la Velocidad de respuesta de los medios de protección. Queda demostrado que los dispositivos de protección se han instalado sin cálculo previo de las condiciones o requerimientos de la carga. Se tiene un breaker general de 400 A cuando el que distribuye dentro de la planta arenera es de 500 A. El breaker que alimenta la turbina, donde se tiene un motor de 55 kW, posee 630 A, valor superior al general de la planta y al de la instalación en su conjunto. Los niveles de tensión de las protecciones no se corresponden con las exigencias de la planta, incluso para motores de baja potencia existen breakers sobredimensionados.

2.3.1 Levantamiento de cargas instaladas.

En La Planta de Beneficio Árido de Miguel Sagua de Tánamo se realizó un análisis profundo de las cargas existentes instaladas, donde se apreció que la mayor demanda de energía eléctrica está dada en los motores expuestos a continuación:

- El motor de molino primario de 55kW.
- El motor alimentador de 8,5kW.
- El motor transportador primario de 7,5kW.
- El motor transportador de retorno de 2,2kW.
- El motor de la turbina de 55kW.
- El motor del rebombeo de 18kW.
- El motor control hidráulico de 7,5 kW.
- El motor de la zaranda de 107-CM de 5,5kW.
- El motor del sinfín de 7,5kW.
- El motor del transportador de una y media de 3kW.
- El motor del transportador de tres cuartos de 7,5kW.
- El motor de la zaranda de CM7-41 de 5,5kW.
- El motor de remolador de 55kW.
- El motor del transportador de arena de 5,5kW.
- El motor del transportador de elevación de 7,5KW.
- El motor del transportador de tres octavos de 4kW.

El sobredimensionamiento de dichos motores es una de las causas por la cual la planta presenta muy bajos niveles de factor de potencia y con ello la penalización por parte de La Empresa Eléctrica, influyendo así en las pérdidas económica.

2.3.2 Comportamiento de las principales magnitudes eléctricas de la instalación en los ramales principales y los equipos de mayor demanda.

Al realizar las mediciones en los principales ramales y los equipos de mayor demanda de la instalación se obtienen las características de la corriente y la tensión en las diferentes fases (A, B y C).

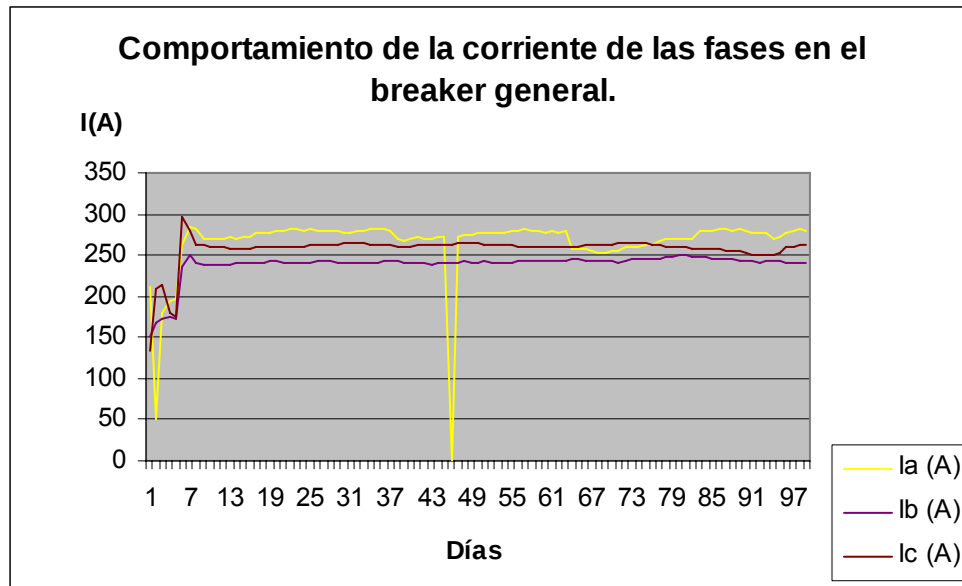


Figura.2.3a Relaciona la I de las fases del breaker principal de la base.

Como se puede apreciar en el gráfico anterior no existe un desbalance considerable entre las fases en el breaker general, llegando en la fase a alcanzar valores de 296.2 A.

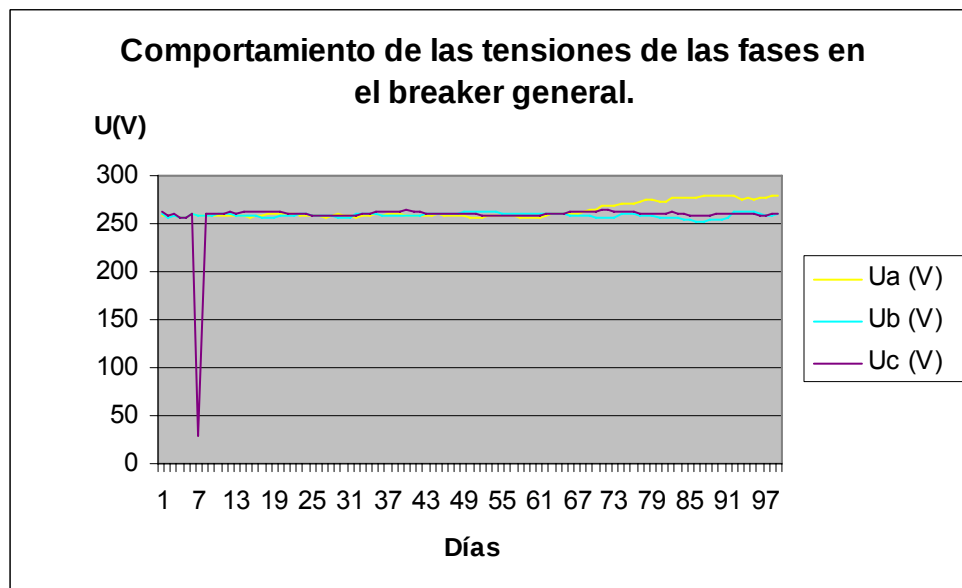


Figura. 2.3b Relaciona las U de las fases del breaker principal de la base.

Estos resultados de las mediciones antes mencionados corresponden al breaker general de la base de la cual depende la planta de árido. Para una mayor información de las principales magnitudes eléctricas de la planta se lograron las mediciones en pleno funcionamiento. (Ver Figura.2.4)

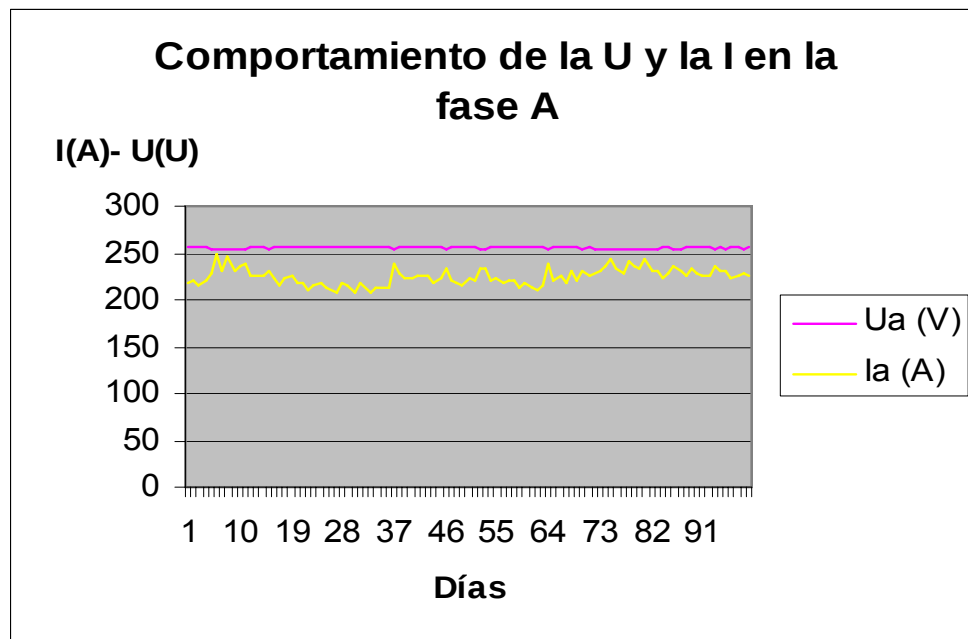


Figura. 2.4a Relaciona la I y U de la fase A de la planta de árido.

Las fluctuaciones de las magnitudes de corriente y tensión de la planta de árido se deben principalmente a las condiciones ambientales en que trabaja, o sea se encuentra expuesta a cualquier cambio climático influyendo así en las variaciones de voltajes.

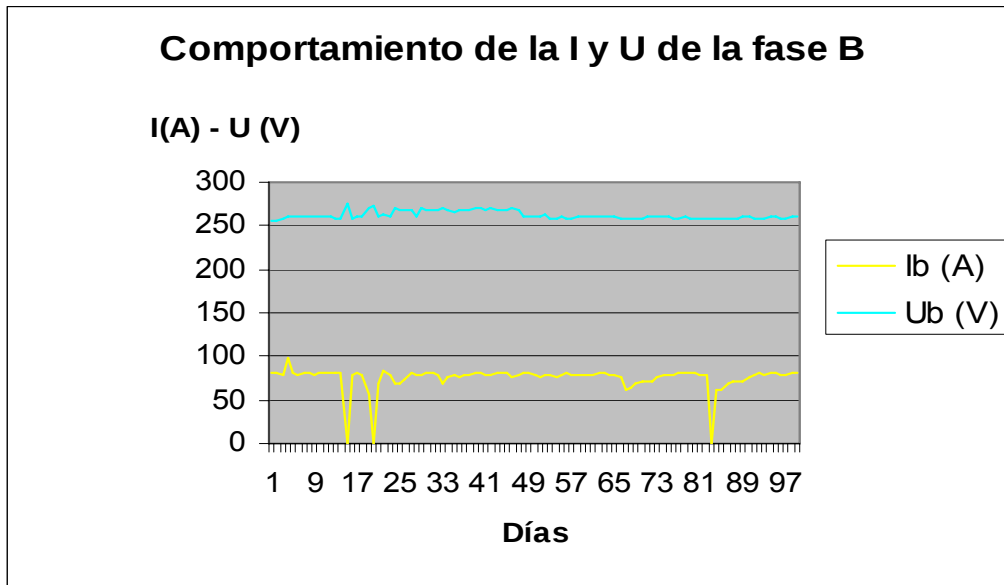


Figura2.4b Relaciona la I y U de la fase B de la planta de árido.

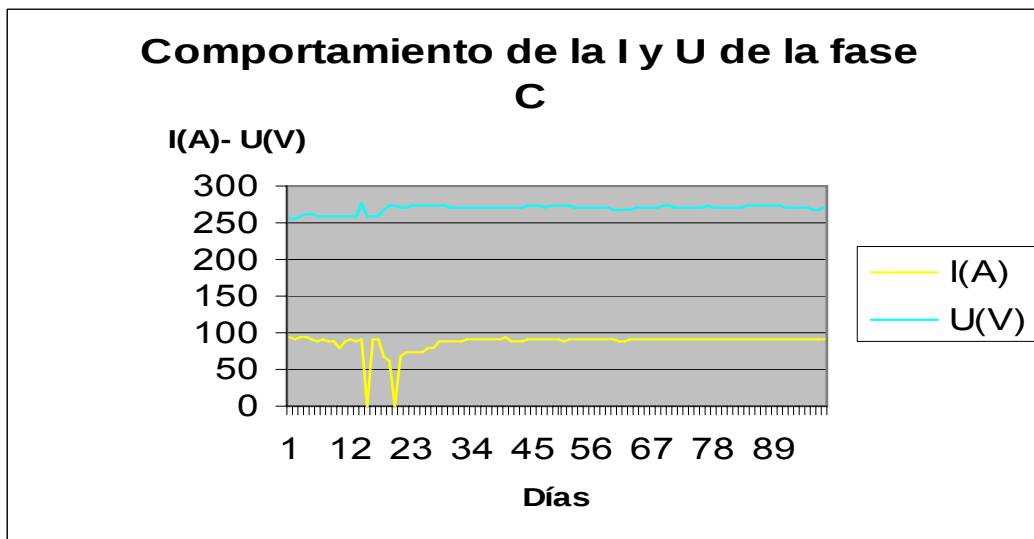


Figura2.4c Relaciona la I y U de la fase C de la planta de árido.

Durante las mediciones en la planta ocurrieron variaciones en cuanto al trabajo, pues se desconectaron cargas, que influyeron en las fluctuaciones de la corriente en algunos momentos de las mediciones, ya vistas en los gráficos anteriores.

2.3.3 Estado de las pizarras de los cuartos de control.

En estos momentos las pizarras de control que existen en la planta no cuentan con las condiciones requeridas para una instalación eléctrica adecuada, influyendo así en el buen funcionamiento de la misma. Este planteamiento se basa en que:

- El almacén de las pizarras se encuentra en mal estado por falta de mantenimiento técnico.
- La mayoría de los breaker están sobredimensionados, algunos presenta problemas debido a los años que llevan operando.
- Los conductores eléctricos no presentan las mejores condiciones, muchos de estos tienen dañado su material aislante, debido al calentamiento por mala selección del calibre de estos y por tiempo de uso.
- Las pizarras de control no presentan una correcta señalización para la identificación de los elementos que contiene, dificultándole el trabajo al operario.
- En la cara externa de todas las puertas de acceso, es necesario emplear señales de aviso de peligro y de entrada prohibida a agentes no autorizado, junto con instrucciones de primeros auxilios.
- Toda instalación requiere de medios para la extinción de incendios del tipo polvo o de CO₂, la misma carece de tales condiciones.
- Los cuartos de control no cuentan con la iluminación requerida, es decir, no existe ninguna.

2.3.4 Estado de los conductores de la instalación.

En una instalación típica de baja tensión, los circuitos alimentadores parten de un panel de control desde el cual se suplen otros paneles que alimentan las cargas. Estos conductores deberán cumplir con los requisitos adecuados para lograr una buena conducción de la energía eléctrica. En el estudio realizado a la instalación se pudo observar tales dificultades como el mal dimensionamiento de los conductores trayendo como consecuencia las pérdidas de voltajes, cortocircuito, riesgos de incendios, sobrecalentamiento en las líneas, etc. Es de mucha importancia mencionar el mal estado del material aislante de los conductores al presentar raspaduras, golpes e incluso en algunos tramos no existe dicho material, trayendo consigo que la energía eléctrica que circula por él pueda entrar en contacto con personas o con objetos, ya sean estos ductos, artefactos u otros elementos que forman parte de la

instalación. Del mismo modo, existe la posibilidad de que conductores de distinto voltaje puedan hacer contacto entre sí. No se realizó la mejor selección de los conductores considerando la capacidad de transporte de corriente, de soportar corrientes de cortocircuito, una adecuada resistencia mecánica y un comportamiento apropiado a las condiciones ambientales en que operará. (Ver Figura.2.5)



Figura. 2.5a Sobrecalentamiento de las líneas.



Figura. 2.5b Cortos circuitos.



Figura. 2.5c Caídas de tensión.

2.3.5 Estado de los dispositivos de protección.

Existen diferentes maneras en que se deben llevar a cabo los circuitos eléctricos de las instalaciones de baja tensión, las funciones y limitaciones de los diversos dispositivos de protección. Los cuales no han sido seleccionados de la manera correcta, trayendo como dificultad no poderse cumplir el objetivo principal que es el de 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. 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). Uno de los problemas detectados en la planta está relacionado con la ausencia de relés térmicos, diseñados especialmente para adaptarse a las características concretas de los motores y así protegerlos contra

sobrecalentamiento causado por una sobrecarga a largo plazo, un rotor bloqueado u operación monofásica, etc. Además los valores de los breaker se encuentran sobredimensionados impidiendo la protección efectiva del sistema de suministro eléctrico. Esta planta carece de dispositivos de protección contra las sobretensiones transitorias atmosféricas provocando una vulnerabilidad ante fenómenos como el rayo que puede causar daños significativos como es el caso de pérdidas de vidas humanas, explosión, fuego, destrucción mecánica, fallas de los sistemas eléctricos y electrónicos internos. etc. (Ver Figura. 2.6)

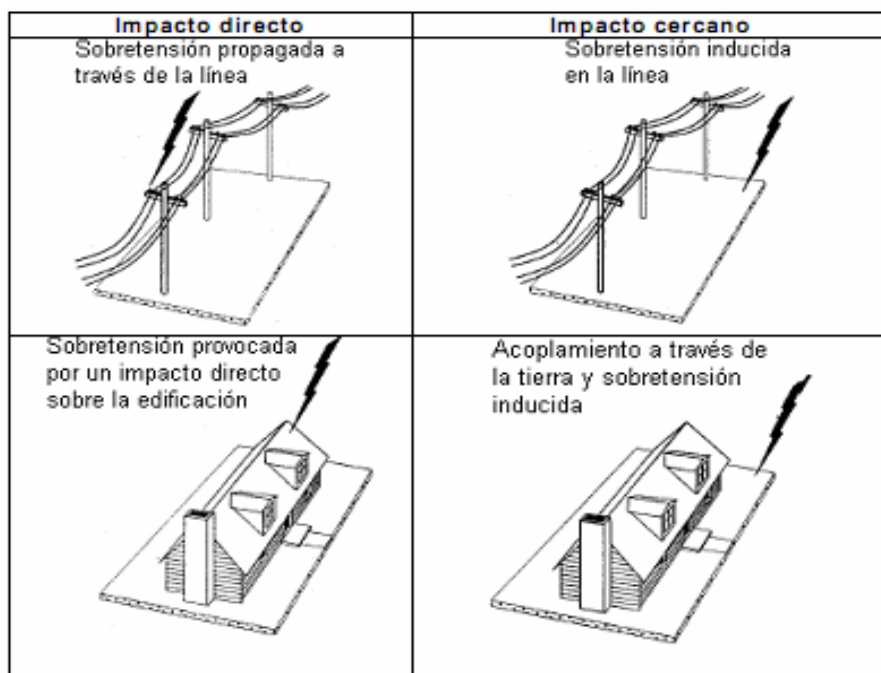


Figura.2.6 Ejemplos de impactos de rayos.

2.3.6 Evaluación del sistema de iluminación.

Existe la intención de que la planta opere las 24 horas en picos de producción para necesidades de clientes importantes por lo que se necesita de la iluminación correcta para su total funcionamiento y eficiencia en la producción, por tanto se analizó el sistema de iluminación concluyendo que la misma no cumple con las condiciones mínimas necesarias para la explotación nocturna. Teniendo en cuenta las normas cubanas. (Ver tabla 2.1)

Tabla 2.1 Normas cubanas de iluminación.

Tipo de interior, tarea o actividad.	E_m lux	CUD_L	R_a	Notas
Locales auxiliares, cuartos de bombas, cuartos de condensadores, cuartos de paneles eléctricos, etc.	200	25	60	
Cuartos de control	500	16	80	Los paneles de control son frecuentemente verticales, puede requerirse atenuación de la iluminación.

Donde:

E_m

- Lux → Iluminancia mantenida.
- CUD_L → Capacidad unificada límite del deslumbramiento.
- R_a → Rendimiento del color.

Para el trabajo eficiente de la planta en horarios nocturnos se necesita de la instalación del alumbrado exterior correspondiente. Como se requiere del alumbrado de un área considerable necesitamos de la instalación de proyectores.

Cálculo del número de proyectores.

Este cálculo se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\text{Número de Proyectores} = \frac{\text{Área a Iluminar} \times \text{Nivel de Iluminación}}{\text{Lúmenes de haz} \times \text{Coeficiente de utilización del haz} \times \text{Factor de Mantenimiento}}$$

$$\text{Número de Proyectores} = \frac{2081.52 \times 0.5}{100 \times 0.9 \times 0.70}$$

Número de proyectores = 16.52

Donde:

Los factores de mantenimiento más utilizados han sido los siguientes:

- Proyectores cerrados → 0.70
- Proyectores abiertos → 0.60

En este caso utilizamos el proyector cerrado porque presenta una mejor conservación de la eficiencia que los abiertos, ya que la cubierta de vidrio protege al reflector y a la lámpara de la acumulación de polvo.

El coeficiente de utilización del haz promedio de todo proyector de una instalación está comprendido entre 0.6 a 0.9.

El nivel de iluminación del área a iluminar es de 0.5, utilizando la siguiente tabla 2.2

Tabla 2.2 Relación: separación / altura de montaje (niveles de iluminación).

Valor de la relación	Clasificación de las Luminarias	
Hasta 0.5, 0.5 a 0.7, 0.7 a 1.0, 1.0 a 1.0 por encima de 1.5	Muy concentradora Dispersadora	Concentradora Dispersión media Dispersión amplia

- Área a iluminar → largo = 50.4m, ancho = 41.3m.
 $A = 2081.52\text{m}^2$.

2.3.7 Historial de facturas de electricidad.

Resultó de gran importancia para el análisis efectuado en La Planta de Árido Miguel, Sagua de Tánamo llevar la secuencia de la relación en las facturas de electricidad de varios meses del año, para apreciar el comportamiento del portador energético. Es necesario mencionar que la planta está siendo penalizada por la Empresa Eléctrica por causa del bajo nivel del factor de potencia, que es el principal objetivo de la realización de este trabajo. (Ver tabla 2.2)

Tabla 2.2 Relación de cuentas facturadas de la Planta de Beneficio Árido Miguel Sagua.

Taller Sagua (Miguel)	Pérdidas por transf.	Deman. contratada	Deman. Registrada	F.P	Penaliz. Por deman.	Penaliz. Por F.P
Noviembre 2008	518	63	137	0.62	1110.00	67.49
Diciembre 2008	557	63	145	0.77	1230.00	193.35
Enero 2009	544	63	143	0.61	1200.00	140.67
Febrero 2009	502	63	142	0.77	1185.00	220.76
Marzo 2009	567	63	130	0.76	1005.00	269.97
Abril 2009	517	63	115	0.61	760	121.19
Mayo 2009	546	63	124	0.76	915.00	240.27
Junio 2009	520	63	139	0.72	1140.00	261.96
Julio 2009	546	63	141	0.70	1170.00	339.53
Agosto 2009	552	63	140	0.69	1155.00	405.65
Septiembre 2009	516	63	120	0.72	655.00	254.98
Octubre 2009	550	63	135	0.71	1060.00	341.96
Noviembre 2009	527	63	121	0.69	670.00	345.25
Diciembre 2009	550	63	0	0.68	0.00	368.43
Enero 2010	550	63	119	0.71	640.00	331.79
Febrero 2010	505	63	0	0.69	0.00	393.70

En el gráfico que se manifiesta a continuación se demuestra el elevado comportamiento de la penalización por la demanda contratada, en correspondencia con el de por bajo factor de potencia en la planta durante el año 2009, hasta el mes de febrero del año 2010. Este demuestra que la demanda contratada es la causa más significativa de las pérdidas por penalización y no por el bajo factor de potencia. Llegando a erogar la empresa más de 13895 CUC solo en este período.

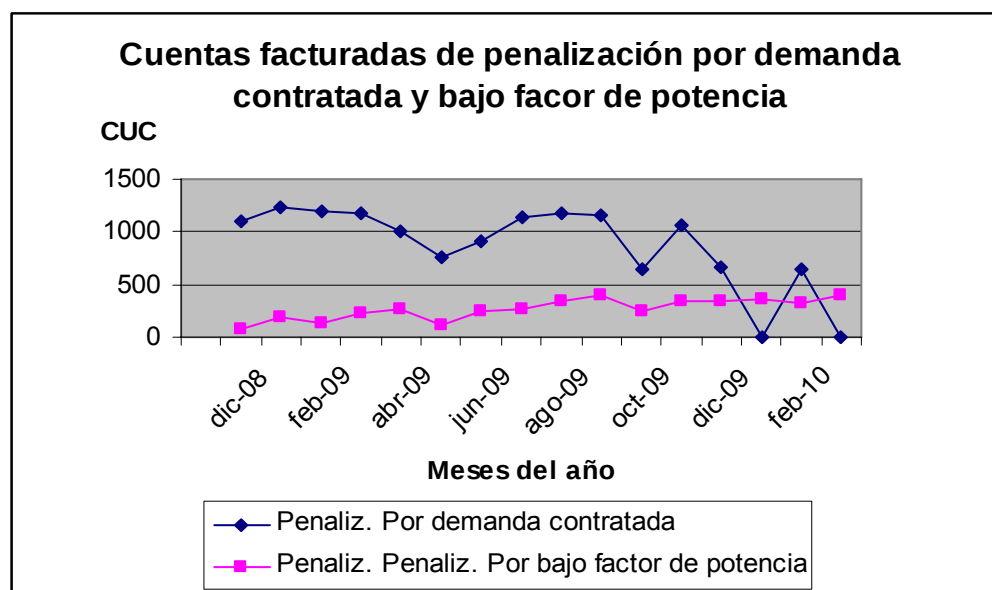


Figura.2.7 Relación de penalización por demanda contratada y por bajo factor de potencia en el año.

2.3.8 Pérdidas de transformación actuales.

Cuando una instalación se alimenta directamente desde un transformador de MT/BT y ya se determinó la potencia máxima aparente de la instalación, se puede decidir la capacidad adecuada del transformador tomando en cuenta las consideraciones siguientes: la posibilidad de mejoramiento del factor de potencia de la planta, previsión de ampliaciones a la instalación, limitaciones de las conexiones (temperatura) en cuanto a las capacidades normalizadas del transformador, etc. (Tabla 2.3)

Estas pérdidas fueron obtenidas mediante la factura de electricidad. La misma se calcula a través de la ecuación siguiente:

$$P = P_h * H_{mes} + \left(\frac{Q}{S} \right)^2 * P_{cu} * T_{trabajo}$$

Donde

$P_h \rightarrow$ Pérdida en el hierro.

$H_{mes} \rightarrow$ Horas de trabajo del mes.

$P_{cu} \rightarrow$ Pérdida en el cobre

$T_{trabajo} \rightarrow$ Tiempo de trabajo.

Tabla 2.3 Pérdidas de transformación actual de la planta.

<u>Taller Miguel (Sagua)</u>	<u>Pérdidas por transformación.</u>
Noviembre 2008	518W
Diciembre 2008	557W
Enero 2009	544W
Febrero 2009	502W
Marzo 2009	567W
Abril 2009	517W
Mayo 2009	546W
Junio 2009	520W
Julio 2009	546W
Agosto 2009	552W
Septiembre 2009	516W
Octubre 2009	550W
Noviembre 2009	527W
Diciembre 2009	550W
Enero 2010	550W
Febrero 2010	505W

Esta característica de la planta la convierte aún más vulnerable en relación con las pérdidas de su economía y para su funcionamiento como sistema eléctrico, así como para la productividad efectiva de la misma. (Ver Figura.2.8)

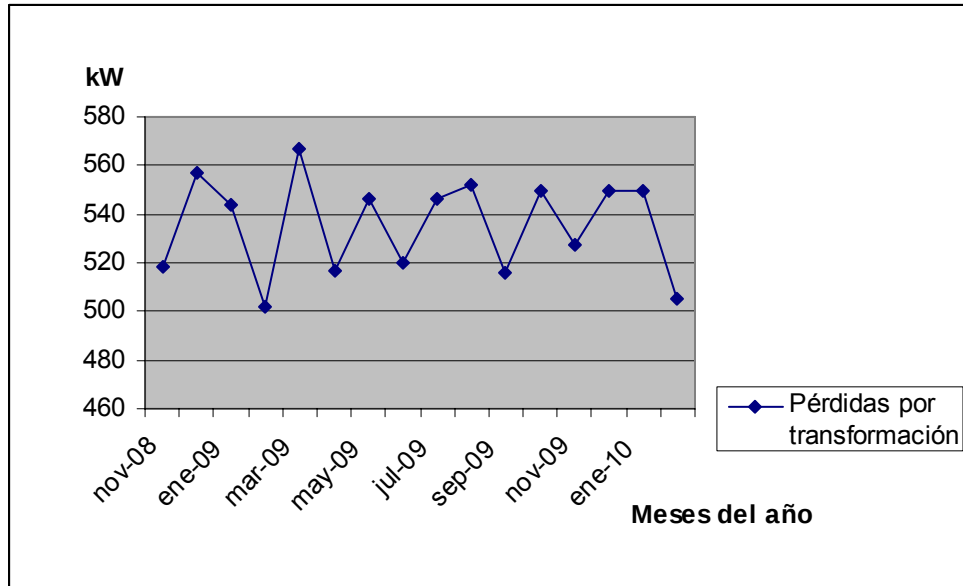


Figura.2.8 Relaciona las pérdidas de transformación en los meses del año.

2.4 Esquemas eléctricos.

Los esquemas eléctricos de instalaciones industriales, o de otros, son de gran importancia para el estudio de los mismos. Por tal razón se realizó el esquema eléctrico de la planta de beneficio de árido con el objetivo de identificar con facilidad los paneles de control de la misma, de esta forma se puede realizar un mejor trabajo al separar el esquema por paneles de forma independiente.

2.4.1 Esquemas de los principales paneles eléctricos.

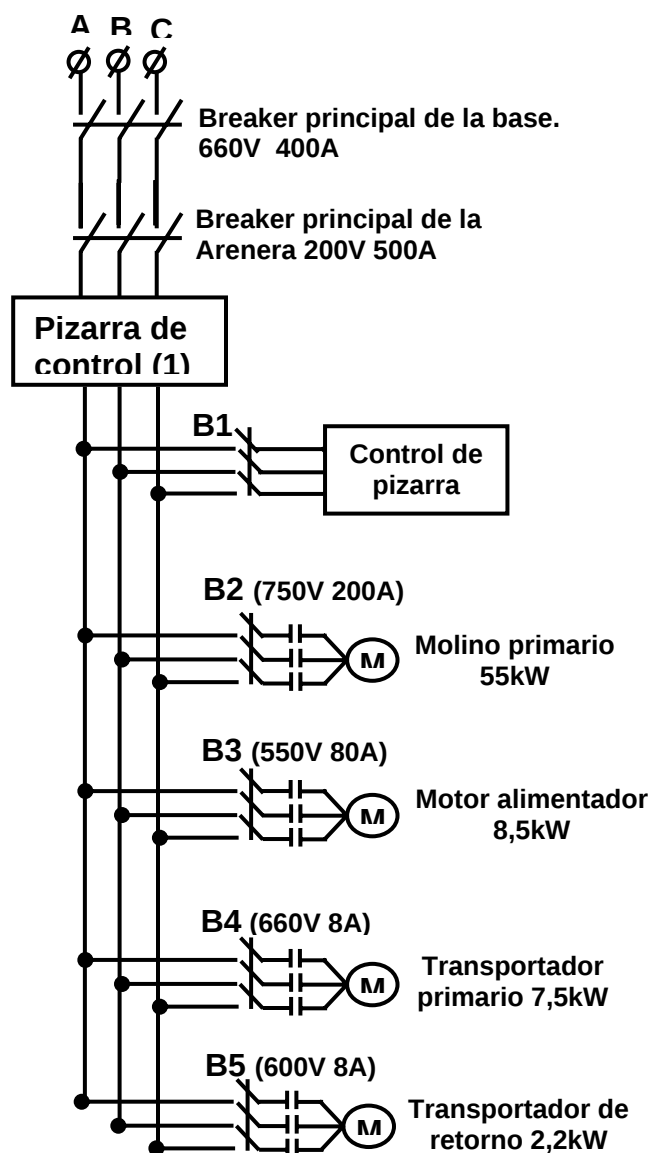


Figura.2.9 Esquema eléctrico de la pizarra de control 1 de la planta de árido.

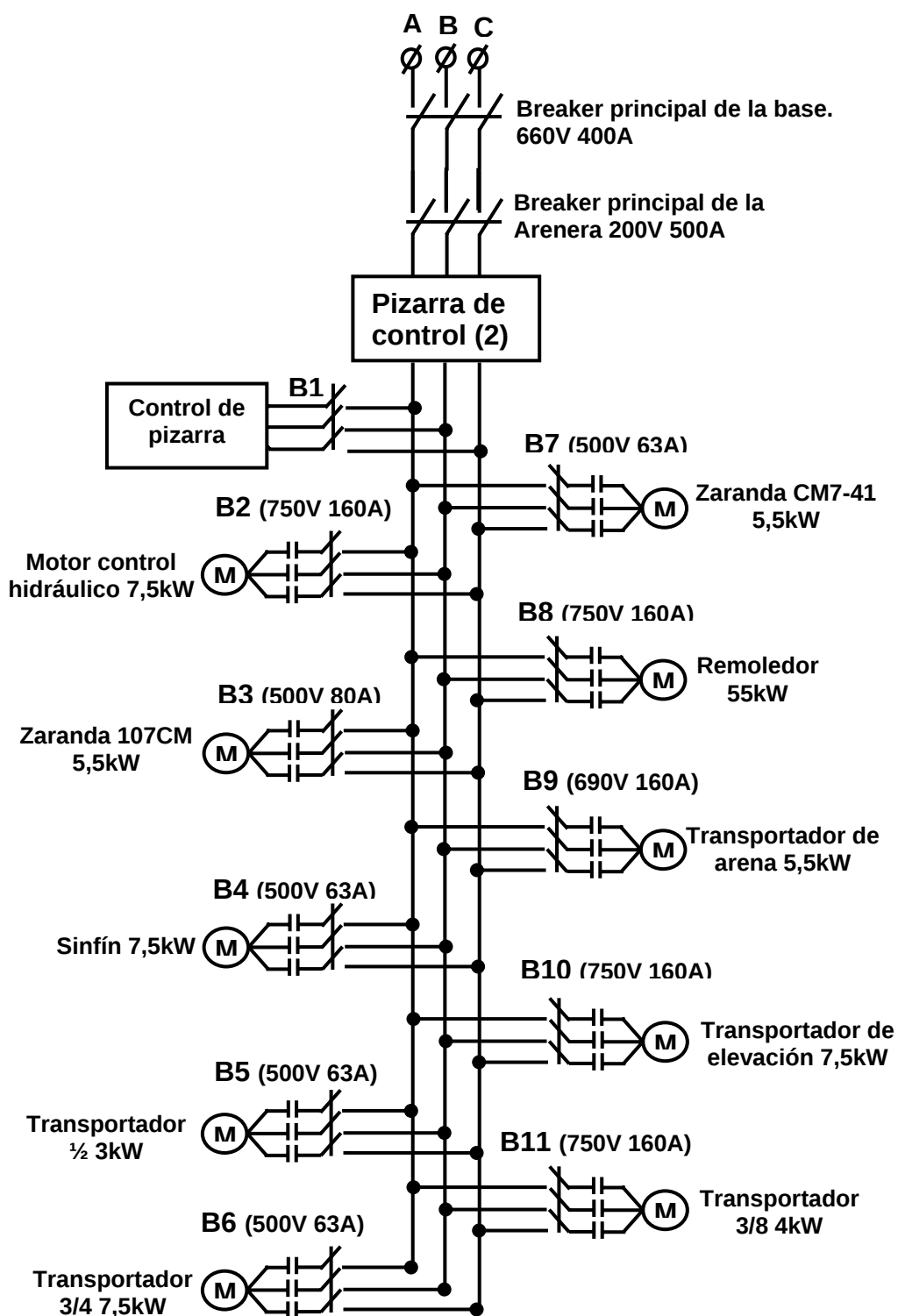


Figura.2.10 Esquema eléctrico de la pizarra de control 2 de la planta de árido.

En las figuras anteriores se exponen los esquemas eléctricos de las pizarras de control con los motores que estas controlan demostrando el sobredimensionamiento de los breakers utilizados en la protección de dichos motores.

2.5 Conclusiones.

En este capítulo se plasma el levantamiento de la potencia instalada en la planta, las principales deficiencias encontradas, el estado en que se encuentran los conductores, los dispositivos de protección, las pizarras de control, el comportamiento de la factura de electricidad en un período de hasta un año.

Además se pudo demostrar que la causa más significativa del incremento del costo de la energía eléctrica de la planta está dada por la demanda contratada de la misma y no por el bajo factor de potencia. Por lo que se pudieron identificar los principales problemas que conllevan al elevado importe en electricidad de La Planta de Beneficio de Áridos de Miguel, Sagua de Tánamo.

Capítulo III. Análisis de los resultados.

3.1 Introducción.

En este capítulo se exponen los resultados alcanzados después de hacer las propuestas para la mejora del factor de potencia de La Planta de Beneficio de Áridos de Miguel, Sagua de Tánamo. Se efectúa el análisis de las mediciones realizadas en el nodo principal, de los ramales principales, de los equipos de mayor demanda y de las facturas de electricidad. Se seleccionan los conductores y los dispositivos de protección, el banco de condensadores, las medidas de mejora del factor de potencia. Se lleva a cabo la instalación del banco de condensador y se elabora el monolineal de la planta, al concluir se establece una valoración económica de las inversiones que fueron necesarias.

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

Estas mediciones se realizaron bajo las condiciones de trabajo del banco de condensadores ya instalado en la planta de áridos, por lo que se puede apreciar el comportamiento de la tensión y la corriente en el breaker principal de la planta.

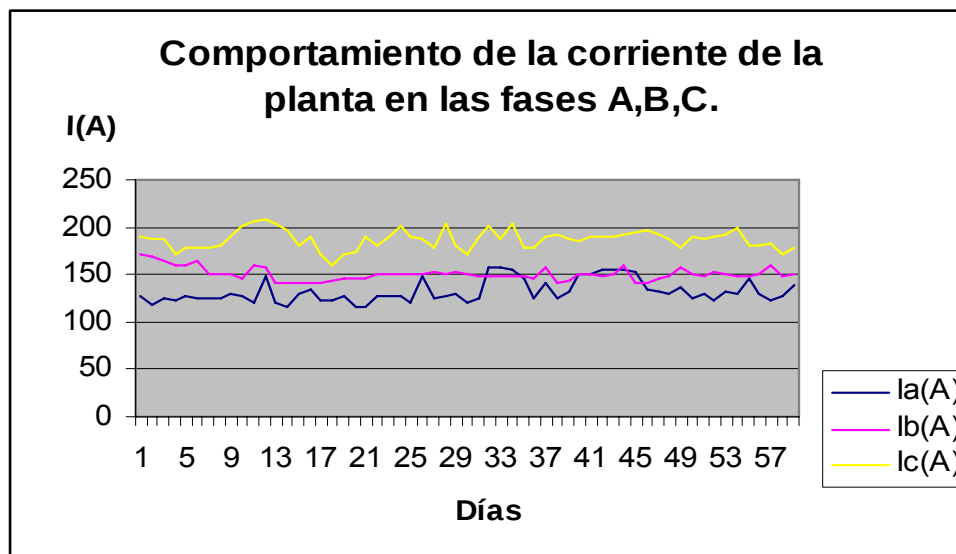


Figura. 3.1 Relaciona el comportamiento de la corriente en la planta de áridos.

En el gráfico anterior se observa la fluctuación de la corriente un tanto brusca debida que esta planta trabaja bajo condiciones desfavorarables en cuanto al clima, es decir, está expuesta a cualquier cambio climático, influyendo así la humedad del área de trabajo.

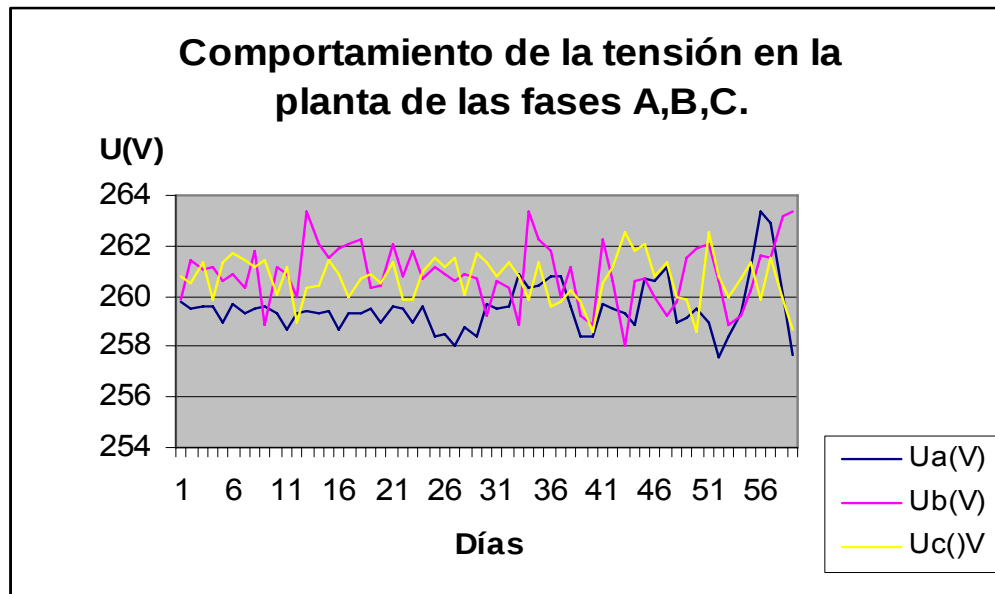


Figura. 3.2 Relaciona el comportamiento de la tensión en la planta de áridos.

Este gráfico representa el voltaje a que está sometida la planta en cada una de sus fases, demostrando que no existe una caída de voltaje considerable, por lo que la planta puede operar con la eficiencia requerida, pero sí existen oscilaciones de tensión ocasionadas por las características de la materia prima y de las manipulaciones del operador.

3.3 Análisis de las facturas de electricidad.

Según los datos de la factura de electricidad brindada por la Empresa Eléctrica se puede apreciar los cambios en cuanto al factor de potencia y la demanda contratada, pues no se penaliza por esta demanda contratada, el factor de potencia alcanzó los valores de 0.90 en el mes de mayo a pesar de presentar problemas eléctricos la planta de árido. Para referirse a la factura eléctrica se debe comenzar por la factura antes de la conexión del banco y después de la conexión.

Factura eléctrica antes de la conexión del banco de condensadores.

Tabla 3.1 Cuentas facturadas antes de la instalación del banco de condensadores.

Taller Sagua (Miguel)	Pérdidas por transf.	Deman. contratada	Deman. Registrada	F.P	Penaliz. Por deman.	Penaliz. Por F.P
Noviembre 2008	518	63	137	0.62	1110.00	67.49
Diciembre 2008	557	63	145	0.77	1230.00	193.35
Enero 2009	544	63	143	0.61	1200.00	140.67
Febrero 2009	502	63	142	0.77	1185.00	220.76
Marzo 2009	567	63	130	0.76	1005.00	269.97
Abril 2009	517	63	115	0.61	760	121.19
Mayo 2009	546	63	124	0.76	915.00	240.27
Junio 2009	520	63	139	0.72	1140.00	261.96
Julio 2009	546	63	141	0.70	1170.00	339.53
Agosto 2009	552	63	140	0.69	1155.00	405.65
Septiembre 2009	516	63	120	0.72	655.00	254.98
Octubre 2009	550	63	135	0.71	1060.00	341.96
Noviembre 2009	527	63	121	0.69	670.00	345.25
Diciembre 2009	550	63	0	0.68	0.00	368.43
Enero 2010	550	63	119	0.71	640.00	331.79
Febrero 2010	505	63	0	0.69	0.00	393.70

En la tabla anterior se aprecia un bajo factor de potencia y una demanda contratada que no se corresponde con la planta en los distintos meses de estudio realizados. Queda demostrado que la verdadera razón de elevados importes por concepto de energía eléctrica lo representa la demanda contratada y no el bajo factor de potencia.

En la siguiente tabla está reflejada la diferencia y los resultados alcanzados al ser instalado el banco de condensadores en la planta.

Tabla 3.2 Cuentas facturadas después de la instalación del banco de condensadores.

Taller Sagua (Miguel)	Pérdidas por Transformación	Demanda contratada	Demanda Registrada	Factor de potencia	Penaliz. por factor de potencia.
Abril 2010	435	150	146.79	0.82	156.39
Mayo 2010	428	150	148.24	0.90	145.52

La anterior tabla nos demuestra que ya la planta no está siendo penalizada por la demanda contratada por lo que ha disminuido el elevado importe de energía eléctrica, sino que el factor de potencia sigue siendo un motivo de trabajo y análisis, a pesar de la mejora significativa. (Ver Figura.3.3)

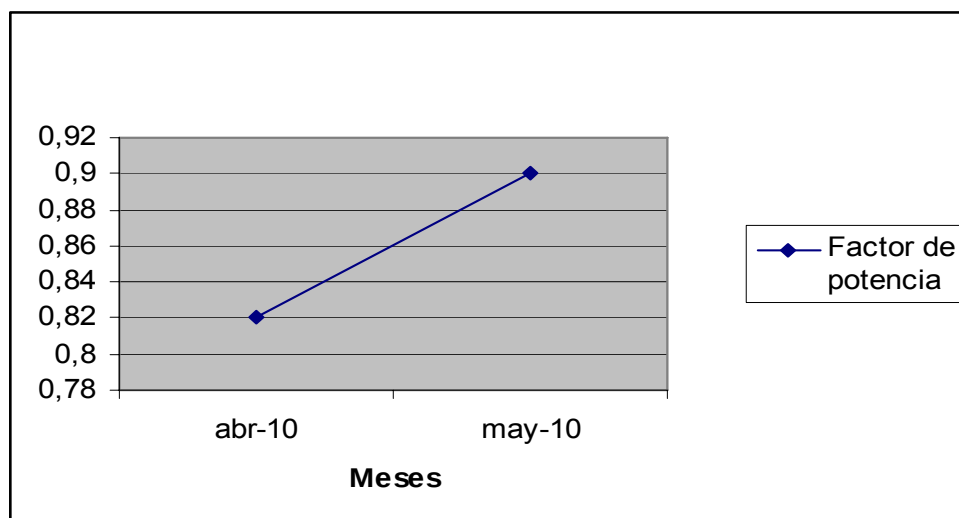


Figura. 3.3 Representa la mejora del factor de potencia después de la instalación del banco de condensadores.

Esta mejora del factor de potencia es debido a las medidas tomadas en la planta como es el caso de la sustitución de motores sobredimensionados y a la instalación del banco de condensadores automático.

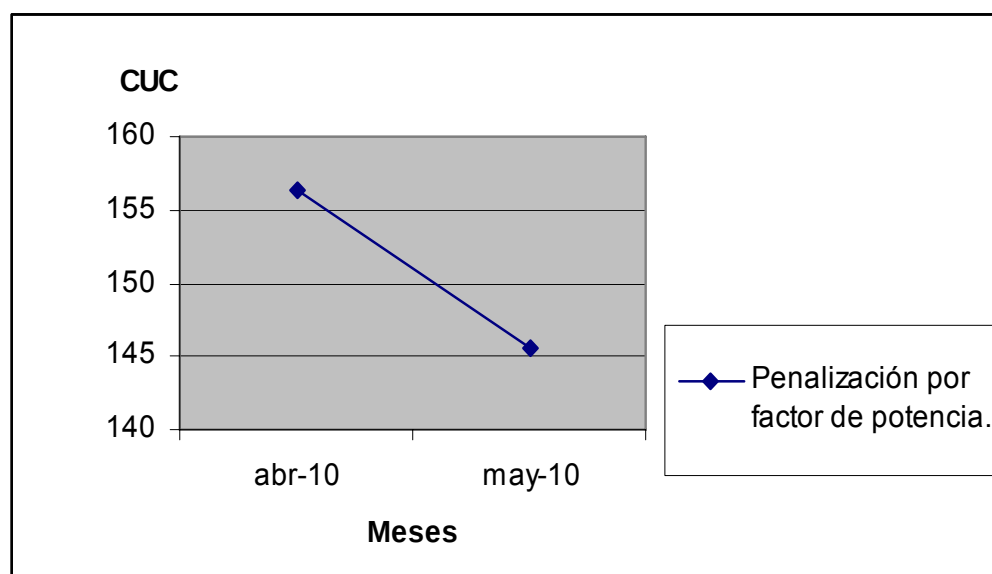


Figura. 3.4 Relación de la penalización por bajo factor de potencia en los meses de abril y mayo.

En este gráfico se expone la penalización por el bajo factor de potencia ya mejorado, donde se observan los resultados alcanzados por la planta de áridos.

3.4 Selección de conductores.

Para seleccionar la sección del conductor de la instalación, la corriente I (en ampere) a través de un circuito, se determina por la siguiente ecuación, así como para calcular la sección del conductor para cada motor. (Ver tabla 3.4)

$$I = \frac{S_{\text{máx}} * 10^3}{U \sqrt{3}} \quad (\text{A}) \quad (3.4.1)$$

Donde:

$S_{\text{máx}}$ → la demanda máxima “real” en kVA para el circuito en cuestión.

U → es la tensión fase a fase (en volt).

Para el cálculo de la corriente se necesita saber los valores de las magnitudes siguientes:

Cálculo de la demanda máxima “real” en kVA ($S_{\text{máx}}$).

Todas las cargas individuales no están funcionando necesariamente a su plena potencia nominal ni necesariamente al mismo tiempo. Los factores de utilización (k_u) y de simultaneidad (k_s) permiten la determinación de las demandas máximas de potencia y de potencia aparente requeridas en la realidad para poder dimensionar la instalación. El factor de utilización debe aplicarse a cada carga individual específicamente a los motores debido a que en raras ocasiones trabajan a plena carga, en industrias este valor puede tomarse para los motores como promedio 0.75. El factor de simultaneidad se aplica a cada grupo de cargas, para ello existe la tabla que brinda algunos valores del factor de simultaneidad según la cantidad de consumidores. (Ver tabla 3.3)

Tabla 3.3 Factores de simultaneidad.

Cantidad de consumidores	Factor de simultaneidad (k_s)
2 a 4	1
5 a 9	0,78
10 a 14	0,63
15 a 19	0,53
20 a 24	0,49

A pesar de que por la tabla el factor de simultaneidad es de 0.53 por la cantidad de motores, debemos utilizar el valor de 1 por tal razón que los motores trabajan al mismo tiempo.

En la siguiente tabla se exponen los resultados de los cálculos de las magnitudes eléctricas de los motores de la planta.

Tabla 3.4 Motores de la planta de árido.

Nombre del motor	P(kW)	U(V)	I(A)	S_{máx}(kVA)
Molino primario	55	480	77.92	48.53
Alimentador	8.5	480	12.04	7.50
Transportador primario	7.5	480	10,62	6,61
Transportador de retorno	2.2	480	3.10	1.93
Turbina	55	480	77.92	48.53
Rebombeo	18	480	25.50	15.88
Control hidráulico	7,5	480	10,62	6,61
Zaranda de 107-CM	5.5	480	7.79	4.85
Sinfín	7.5	480	10.62	6.61
Transportador de una y media	3	480	4.25	2.65
Transportador de tres cuartos	7.5	480	10.62	6.61
Zaranda de CM7-41	5.5	480	7.79	4.85
Remolador	55	480	77.92	48.53
Transportador de arena	5.5	480	7.79	4.85
Transportador de elevación	7.5	480	10.62	6.61
Transportador de tres octavos	4	480	5.66	3.53
Planta				224.68

Mediante la fórmula que presentaremos a continuación se alcanzaron los valores de potencia aparente real de los motores y de la planta:

$$S = \sqrt{3} * U * I * K_U \quad (\text{kVA}) \quad (3.4.2)$$

Donde:

S → Potencia aparente real de cada motor individual en (kVA).

U → Tensión de los motores en (V).

I → Corriente de los motores en (A).

K_u → Factor de utilización. Para los motores el valor promedio es de 0.75.

Luego obtenemos la potencia aparente real de la planta mediante la suma de todas las cargas de la instalación multiplicada por el factor de simultaneidad.

$$S_{máx} = \sum S * K_S \quad (\text{kVA}) \quad (3.4.3)$$

$$S = 224,68 * 1$$

$$S_{m\acute{a}x} = 224,68 \quad (\text{kVA})$$

Donde:

$S_{m\acute{a}x} \rightarrow$ Potencia aparente real de la planta en (kVA).

$1 \rightarrow$ Factor de simultaneidad K_s . (valor apreciado)

Por tanto al obtener el valor de la corriente se puede hacer una correcta selecci3n de la secci3n de los conductores para la planta de 3rido.

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} * 10^3}{U \sqrt{3}} \quad (\text{A})$$

$$I = \frac{224.68 * 1000}{480 * 1.73}$$

$$I = 270.57 \quad (\text{A})$$

La secci3n del conductor de la instalaci3n ser3 170.20mm².

Tabla 3.5 Selecci3n de la secci3n de los conductores para los motores.

Nombre del motor	I(A)	Secci3n del conductor mm ²
Molino primario	58.44	13.30
Alimentador	9.03	2.09
Transportador primario	7.96	2.09
Transportador de retorno	2.32	2.09
Turbina	58.44	13.30
Rebombeo	19.12	3.31
Control hidr3ulico	7.96	2.09
Zaranda de 107-CM	5.84	2.09
Sinf3n	7.96	2.09
Transportador de una y media	3.19	2.09

Transportador de tres cuartos	7.96	2.09
Zaranda de CM7-41	5.84	2.09
Remolador	58.44	13.30
Transportador de arena	5.84	2.09
Transportador de elevación	7.96	2.09
Transportador de tres octavos	4.25	2.09

En esta tabla se encuentran los datos de corrientes de cada motor relacionado con la sección del conductor que debe emplearse para el mejor funcionamiento de la planta. [Mesa Almirall, 2003]

3.5 Selección de dispositivos de protección.

El cálculo de la corriente de cortocircuito es realizado con la finalidad de determinar la capacidad de los dispositivos de protección que van hacer conectados en la planta nos apoyamos en el método de sistema de unidades relativas (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 partimos del siguiente razonamiento:

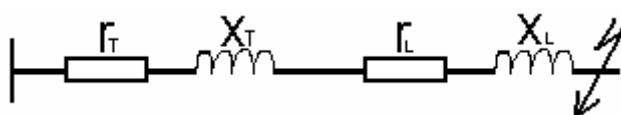


Figura. 3. 5 Esquema del tramo de una fase cortocircuitada en un punto de la línea.

Donde:

$r_T \rightarrow$ Resistencia del transformador.

$r_L \rightarrow$ Resistencia de la línea.

$x_T \rightarrow$ Reactancia del transformador.

$x_L \rightarrow$ Reactancia de la línea.

Estas magnitudes son obtenidas por datos de chapa del transformador, y por catálogos de conductores.

Partiendo de los datos obtenidos fueron seleccionadas las magnitudes bases las cuales son, potencia base S_b y el voltaje base V_b . A partir de estas magnitudes podemos determinar la corriente de cortocircuito, para lo cual partimos de las expresiones que son mostradas a continuación:

$$S_b = \sqrt{3}U_b * I_b \quad (3.5.1)$$

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b} \quad (3.5.2)$$

$$I_b = \frac{2.5}{1.73 * 480}$$

$$I_b = 3010.05 \quad (A)$$

$$Z_b = \frac{U_b \text{ fase}}{I_b \text{ fase}} \quad (3.5.3)$$

$$Z_b = \frac{480}{3010.05}$$

$$Z_b = 1.16$$

Con estos resultados determinamos la I_{cc} en valores por unidad, a partir de unas series de expresiones que son mostradas a continuación:

$$I_{cc} = \frac{V}{Z_{cc}} \rightarrow Z_{cc} = \sqrt{r_{cc}^2 + x_{cc}^2} \quad (3.5.4)$$

$$Z_{cc} = \sqrt{0.0015^2 + 0.0078^2}$$

$$Z_{cc} = 0.0079$$

$$Z_{ccpu} = \frac{Z_{cc}}{Z_b} \quad (3.5.5)$$

$$Z = \frac{0.0079}{1.16}$$

$$Z_{ccpu} = 0.0068$$

$$I_{cc} = \frac{1}{0.0068} \quad (3.5.6)$$

$$I_{cc} = 147.06 \quad (\text{pu})$$

$$I_{cc} = I_{cc\ pu} * I_b \quad (3.5.7)$$

$$I_{cc} = 147.06 * 3010.05$$

$$I_{cc} = 442\ 657.95 \text{ A}$$

Donde (V) esta expresado valores por unidad, y equivale a (1 pu).

$$r_{cc} = 0.0015 \quad ; \quad x_{cc} = 0.0078$$

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

$S_b \rightarrow$ Potencia aparente base.

$Z_b \rightarrow$ Impedancia base.

$R_{cc}, X_{cc} \rightarrow$ Resistencia y reactancia de cortocircuito.

$Z_{cc} \rightarrow$ Impedancia de cortocircuito.

$I_{cc} \rightarrow$ Corriente de cortocircuito.

Esta es la corriente que permite seleccionar la corriente de corte del breaker.

Para el disparo oportuno de este dispositivo es necesario determinar la corriente de disparo por sobrecarga de la planta y de cada motor individualmente. Esta corriente se calcula a través de la fórmula expresada en el cálculo anterior para la selección de la sección del conductor:

$$I = \frac{S_{\max} * 10^3}{U\sqrt{3}} * 1.5$$

$$I = \frac{224.68 * 1000}{480 * 1.73} * 1.5$$

$$I = 405.75 \quad (\text{A})$$

Donde:

$S_{\max} \rightarrow$ la demanda máxima “real” en kVA para el circuito en cuestión.

$U \rightarrow$ es la tensión fase a fase (en volt).

1.5 $\rightarrow$ factor de seguridad.

Tabla 3.6 Representa los valores de la corriente de disparo de los motores.

Nombre del motor	Corriente de disparo I(A)
Molino primario	87.66

Alimentador	13.55
Transportador primario	11.94
Transportador de retorno	3.48
Turbina	87.66
Rebombeo	28.68
Control hidráulico	11.94
Zaranda de 107-CM	8.76
Sinfín	11.94
Transportador de una y media	4.79
Transportador de tres cuartos	11.94
Zaranda de CM7-41	8.76
Remolador	87.66
Transportador de arena	8.76
Transportador de elevación	11.94
Transportador de tres octavos	6.38
Planta	405.75

3.6 Propuesta del banco de condensadores.

Los Bancos de Condensadores empleados para controlar el voltaje y mejorar el factor de potencia así como los cables aislados son los principales componentes que afectan las características de respuesta en frecuencia del sistema. La conexión de los condensadores puede causar condiciones de resonancia, tanto serie y como paralela, que pueden elevar los niveles de armónicos. Estos bancos de condensadores se utilizan como una fuente de voltaje para la conmutación de algunos convertidores de potencia estáticos. Pueden ser considerados en paralelo con el sistema cuando se calcula la reactancia de conmutación, para así incrementar la di/dt de conmutación. Las capacitancias de carga de línea en líneas de transmisión y los cables aislados también están en paralelo con la inductancia del sistema, por tanto, ellos son similares a los condensadores paralelos con respecto al efecto de las características de respuesta en frecuencia del sistema. Habitualmente los bancos de condensadores son predominantes en la industria y en los sistemas de distribución de arriba.

IEEE C57.12.00-1987[2] proporciona un límite de armónicos para el transformador de corriente. El límite superior del factor de distorsión de corrientes es el 5% de la cantidad de corriente. La recomendación práctica puede dar el máximo sobrevoltaje RMS que el transformador pueda ser capaz de resistir en estado seguro: el 5% de la cantidad con carga y el 10% sin carga. Las corrientes armónicas en el voltaje aplicado no deben resultar en un voltaje total RMS que exceda éstas proporciones.

Reguladores de corriente reactiva.

Serie Computer 8d/14d

- Permite conexión y desconexión automática de los condensadores en función del factor de potencia.
- Alimentación: 230/400 Vca.
- Compensación para redes monofásicas o trifásicas.
- Pasos de condensador: 1..8 (computer 8d) y 1..14(computer 14d).
- Posibilidad de alarma con temporización (según modelo), analizando las siguientes condiciones: Error compensación (C.E), error distorsión (U.E).
- Visualización de: $\cos\phi$, A , d%.
- Posibilidad de comunicaciones RS485, protocolo Modbus mediante tarjeta de expansión (solamente en modelos computer 14d).
- Montaje panel.
- Envejecimiento o utilización uniforme de los condensadores.

En las siguientes tablas se ponen de manifiesto los datos del regulador de energía reactiva. (Ver tablas 3.7, 3.8, 3.9).

Tabla3.7 Datos específicos.

Modelo	Nº de relés	Alarma	Alimentación	Dimensiones	Precio
Computer 8d-6-96	6	No	230/400 V ca	96x96x84mm	\$270.400
Computer 8d-6-96a	6	Sí			\$280.900
Computer 8d-8-96a	8	Sí			\$289.900
Computer 14d-12-144a	12	Sí		144x144x86mm	\$394.600
Computer 14d-14-144a	14	Sí			\$407.500

Tabla3.8 Parámetros del equipo para su funcionamiento.

Parámetros setup	Rango
Primario transformador (I_p).	5..9990 A
Corriente del primer condensador (I_{c1}).	0.01..999 A
Tipo de conexión (Phase).	t-1,t-2,t-3,t-4,t-5,t-6
Programa de computación (Prog).	1:1:1:1,1:2:2:2,1:2:4:4,1:2:4:8,1:1:2:2
Ajuste $\cos\varphi$ ($\cos\varphi$).	0.80 ind... o.95cap
Alarma para el factor de distorsión (d%).	0...999%
Tiempo de conexión (T_r (s)).	4...999 seg.
Tiempo de seguridad (T_s (s)).	20...999 seg.
Números de condensadores instalados (N°).	1...8 (computer 8d), 1...14 (computer 14d).

Tabla 3.9 Tarjeta expansión.

Modelo	Descripción	Precio
RS485 Modbus	Módulo de comunicación RS485, protocolo Modbus para computer 14d + software Easycomm.	\$107.00

Además de la tarjeta se incluye el software para visualizar los equipos en tiempo real y guardar información de estos.



Figura.3.6 Circuito del banco de condensadores automático.

3.7 Medidas de mejora de la eficiencia en la instalación. (Cambio de motores, mejora factor de potencia).

Para lograr una mayor eficiencia en la planta de beneficio de árido es necesario cumplir las medidas que harán posible elevar las condiciones de trabajo de la misma. Por lo que se debe:

- Cambiar los conductores en mal estado y mal seleccionado para lograr la conducción de la energía eléctrica adecuada.
- Sustituir los breakers sobredimensionados, utilizarlos en los lugares correspondientes con sus corrientes nominales.
- Lograr la iluminación requerida para el trabajo de 24 horas.
- Sustituir los motores sobredimensionados como es el caso de la turbina de agua.
- Se necesita la instalación del banco de condensadores para evitar las pérdidas de potencia activa adicionales en todos los elementos del sistema, las pérdidas o caídas de voltajes, tanto así para disminuir las facturas de energía eléctrica, por lo que se mejora la penalización por bajo factor de potencia por parte de la Empresa Eléctrica.

3.8 Instalación del banco de condensadores.

Para instalar el banco de condensadores se necesita saber la potencia reactiva que genera la planta antes de la conexión y después.

Cálculo de la potencia reactiva antes del banco de capacitores. Fue utilizado el factor de potencia antes del banco. (Ver tabla 2.2)

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi \quad (3.8.1)$$

$$Q = 1.73 * 480 * 270.57 * 0.71$$

$$Q = 159523.74$$

$$Q = 159.52 \quad (\text{kVAr})$$

Cálculo de la potencia reactiva con el banco de capacitores instalado.

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi \quad (3.8.2)$$

$$Q = 1.73 * 480 * 270.57 * 0.51$$

$$Q = 114587.477$$

$$Q = 114.58 \quad (\text{kVAr})$$

En este caso se utilizó el factor de potencia mejorado. (Ver tabla 3.2)

Teniendo el valor de la potencia del banco es posible seleccionar la sección del cable de conexión para capacitores y baterías de condensadores a verificar según las condiciones de la instalación. (Tabla 3.9)

Donde:

$Q \rightarrow$ Potencia reactiva.

$U \rightarrow$ Tensión de línea.

$I \rightarrow$ Corriente de línea.

$\text{Sen } \phi \rightarrow$ Es el arco coseno del factor de potencia.

Tabla 3.9 Sección transversal mínima del conductor para capacitores.

Potencia del banco (kVAr) 400V	Sección del cobre (mm ²)	Sección del aluminio (mm ²)
10	2.5	16
20	4	16
30	6	16
40	10	16
50	16	25
60	25	35
80	35	50
100	50	70
120	70	95
140	95	120
200	120	185
240	150	240

Condiciones de la instalación y medidas de seguridad.

Los capacitores se ubicarán en locales ventilados y el acceso a estos locales estará limitado al personal calificado. Es una obligación realizar la puesta a tierra de los capacitores y de los paneles donde se instalen. Los capacitores tendrán medios para una vez que sean

desenergizados, descargar la energía almacenada. [Reglamento Electrotécnico Cubano 2008]

Tiempo de descarga: La tensión residual de un capacitor será reducida a 50 V o menos en el término de 1 min a partir de su desconexión de la fuente de alimentación.

Medios de descarga: El circuito de descarga estará permanentemente conectado a los terminales del capacitor o deberá estar equipado con un medio automático de conexión de dicho circuito cuando se desconecte de la fuente de alimentación. No se permite el uso de medios manuales para conectar y desconectar el circuito de descarga.

3.9 Monolineal de la instalación objeto de estudio.

Para el análisis de la planta de beneficio de áridos resulta de mucha importancia la construcción del monolineal, pues no contaban con el mismo. En la siguiente Figura se muestra el monolineal actualizado de la planta.

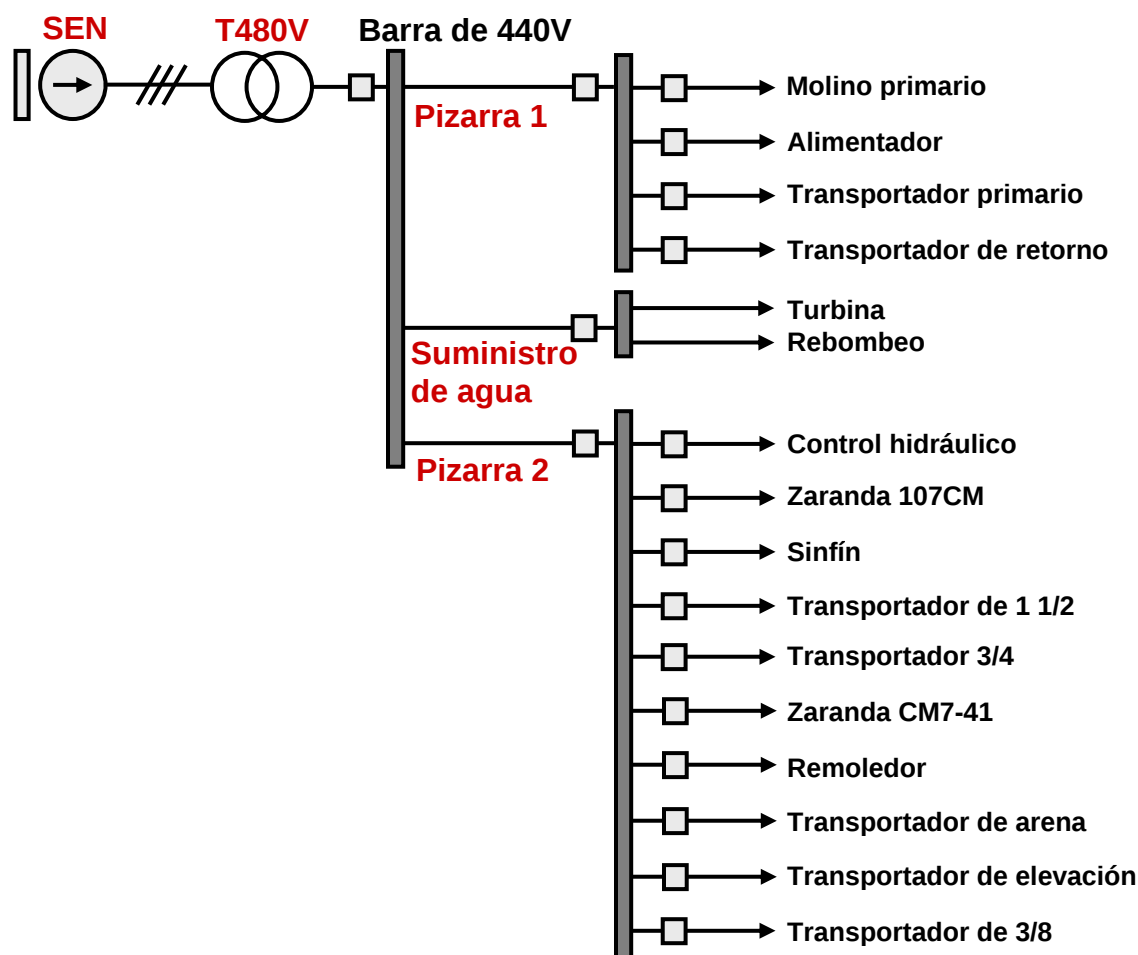


Figura.3.7 Monolineal de la planta de áridos.

3.10 Valoración económica.

En este punto se trata la parte económica de las inversiones realizadas por la empresa con el propósito de mejorar la calidad de funcionamiento de la planta de áridos. Dichas inversiones han sido analizadas por el personal correspondiente para su aprobación.

3.11 Gastos de Montaje.

Los gastos de montaje relacionan todos los costos en los que es necesario incurrir para el montaje del equipamiento que se pretende instalar, así como los gastos parciales para reparación y mantenimientos. El costo de los bancos de condensadores se valora según la oferta de la firma suministradora, en el caso que nos ocupa la firma suministradora es la General Electric, el banco de condensadores que se necesita, ya estandarizado seleccionado se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Costo del banco de condensadores.

Descripción	Cantidad	Costo Unitario CUC	Costo Total CUC
Banco de condensadores Con fusibles incluidos	1	4740.446	4740.446

El costo relacionado con el equipamiento que se compró se encuentra explicito en la siguiente tabla.

Tabla 3.11 Costo de los materiales.

Nº	Descripción	U/M	Cantidad	Costo unitario CUC	Costo Total CUC
1	Cable de control de 27 vías	MTS	35	8.747713	302.67
2	Motor eléctrico, P=3.45kW 1800r.p.m	Und	8	264.8401	2118.72
3	Motor eléctrico, P=42.5kW 1800r.p.m	Und	2	2497.845	4995.69
4	Motor eléctrico,	Und			

	P=6.3kW 1800r.p.m		1	448.1876	448.19
5	Bateria de condensadores automático, S=150kVAr 60Hz	Und	1	4740.446	4740.45
6	Protección (Relés) GL 40230V	Und	5	235.9174	1179.58
7	Protección (Relés) GL 90230V	Und	2	254.8679	509.74
8	Relés térmico, REG 132-300A REF LR9 F5371	Und	3	402.9153	1208.75
9	Botoneras Marcha-Paro REF.XALD213	Und	18	50.63954	911.51
10	Botoneras emergencias REF. XALK178 F	Und	2	60.28312	120.57
11	Interruptor caja moldeada 3P 200A REF. LV 431631	Und	3	833.5488	2500.65
12	Interruptor caja moldeada 3P 50A REF. LV 429633	Und	5	233.7128	1168.56
13	Contactor 3P 225A 480V 60Hz LC1F225	Und	3	996.3178	2988.95

Importe total (CUC) 23194.03

3.12 Inversión Total.

El costo general de la inversión para un año de explotación se determina a partir de la sumatoria de todos los gastos deducidos anteriormente, para ello se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Inv.} = C_{\text{ad.mont.}} + C_{\text{mat.}}$$

$$\text{Inv} = 1582.8 + 23194.03$$

$$\text{Inv} = 24776.83 \text{ CUC}$$

Donde:

Inv. → Inversión total.

$C_{\text{mont.}}$ → Costo del montaje. En este caso el montaje lo realizan cuatro obreros y el técnico de la brigada de la planta, por lo que los gastos se concentran en salario, alimentación y transporte, para un total de 1582.8 CUC por tres meses de trabajo.

3.13 Ahorro en Pérdidas Eléctricas.

A partir de la compensación se produce una significativa disminución de las pérdidas de energía eléctrica, para este cálculo es necesario tener en cuenta la factura de energía eléctrica de la planta. (Ver tabla 3.12)

Tabla 3.12 Ahorro en pérdidas eléctricas.

Descripción	Importe de pérdida día CUC	Importe de pérdida año CUC	Ahorro CUC
Antes de la compensación	62.57	16518.48	7038.88
Después de la compensación	36.46	9479.6	

Se tomaron 264 días al año por la razón de que no se trabajan los sábados ni los domingos.

Antes de la compensación:

$$I_{\text{pérdida}} = 0.044 * K * kWh$$

$$I_{\text{pérdida}} = 0.044 * 2.668 * 535.437$$

$$I_{\text{pérdida}} = 62.87$$

Donde:

$I_{\text{pérdida}}$ → Importe de pérdida.

K → Coeficiente del mes de la facturación.

0.044 → Tarifa M-1.C.

Después de la compensación:

$$I_{p\acute{e}rdida} = 0.044 * 1.9202 * 431.5$$

$$I_{p\acute{e}rdida} = 36.46$$

Estos datos son obtenidos por la Empresa Eléctrica del municipio Sagua de Tánamo.

3.14 Tiempo de recuperación de la inversión.

El tiempo de recuperación de la inversión está dado por la relación entre la inversión realizada y el ahorro obtenido. En este caso al ahorro por concepto de pérdidas se le adiciona el ahorro por penalización por bajo factor de potencia, el cual ya está corregido.

$$T = \frac{Inversión}{Ahorro_{p\acute{e}rdidas} + Ahorro_{penalizaciónF.P} + Ahorro_{penalizaciónDem. Contratada}}$$

$$T = \frac{24776.83}{7038 + 117.625 + 992.5}$$

$$T = 3.04 \text{ años.}$$

El tiempo de recuperación de la inversión efectuada será de 3.04 años, y con los niveles de ahorro obtenido será factible la inversión.

3.15 Conclusiones.

La valoración económica efectuada permite arribar a las conclusiones siguientes:

Se obtiene un ahorro por concepto de pérdidas de energía eléctrica de 7038.88 CUC al año.

Con el reajuste de la demanda contratada hasta 150kW que significaba la mayor pérdida en la factura de electricidad se logró un ahorro 992.5 CUC al mes.

La inversión realizada por la empresa tiene un tiempo de recuperación de 3.04 años.

Con la mejora del factor de potencia se obtiene un ahorro mensual de 117.625 CUC.

Con las propuestas de mejora y cambio de motores se logrará una mayor eficiencia de trabajo en la planta.

Conclusiones Generales

Luego del análisis energético de la planta de áridos de las condiciones actuales, los resultados obtenidos, y la implementación del sistema del banco de condensadores, se establecen las siguientes conclusiones:

- Como parte importante de este trabajo se logró identificar que el elevado importe por concepto de energía eléctrica de la planta no proviene del bajo factor de potencia si no de la insuficiente demanda contratada.
- Con la mejora del factor de potencia se logró un ahorro mensual de 117.625 CUC.
- Mediante la implementación del análisis energético de la planta se logró detectar todos los problemas que afectan la eficiencia del trabajo y la producción de la planta como es el caso muy significativo del sobredimensionamiento de los motores.
- Para una demanda contratada de 150 kW se ahorran 992.5 CUC mensualmente.

Recomendaciones

1. Llevar un mejor y estricto control del comportamiento de la energía eléctrica en la Planta de Áridos de Miguel, Sagua de Tánamo.
2. Dar solución a las deficiencias detectadas durante el estudio energético.
3. Contratar una nueva demanda para la instalación acorde a sus necesidades reales.
4. Instalar un metro contador en la planta con el objetivo de que cuando empiecen a trabajar los demás consumidores de la base se puedan obtener datos específicos de la planta, en relación con el consumo de energía eléctrica.
5. Realizar el montaje de la nueva pizarra de control con los requerimientos adecuados para su funcionamiento.
6. Instalar el banco de condensadores programable en la subestación de entrada de la instalación.

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. 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.
9. KOSTENCO, M. y PIOTROVSKY, L. Máquinas Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982. 522 p.
10. Manual de Consumidores: Tarifas Eléctricas y su Aplicación. La Habana: Unión Eléctrica, 2007.

11. 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.
12. Merlín Gerín. Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos 2003.
13. M.I.T, Circuitos magnéticos y Transformadores. Reverté. Buenos Aires, 1981.
Disponible en: < <http://transformadortrifásico.mth> >
14. PINO MORALES, J. Aplicación de herramientas de la Gestión Energética en la Batería de Grupos Electrógénos Diesel de Moa 2008. Moa, 2008.
15. 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.
16. Reglamento Electrotécnico Cubano. Edición 1.0 2008.
17. 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.
18. SARIOL SOSA, S. ¿Electricidad sobrante?. Periódico Granma, 30 de mayo 2009 (127): 3.
19. SMOLENSKI, Ivanov. Máquinas Eléctricas.
20. Uso Eficiente de la Energía Eléctrica . [en línea]. Perú: Procobre. Disponible en: <http://www.procobreperu.org>
21. VOLDEK, A. I. Máquinas Eléctricas.

22. VIANT GARRIDO, E; R. MORA H. Gestión de Información sobre Soluciones Energéticas. CUBAENERGIA: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo
23. VIEGO FELIPE, V; et. al. Maestría Eficiencia Energética: Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, 2007.

Anexos

Planta de beneficio de Áridos Miguel Sagua de Tánamo.

Aval

El trabajo de tesis desarrollado en nuestra empresa por el estudiante Erlan Orestes Toll Palma, titulado: “Análisis energético en la Planta de Beneficio de Áridos Miguel, Sagua de Tánamo que contó con la colaboración del Dpto. de Ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, “ ISMM”, permitió establecer un estudio del portador energético electricidad de la planta.

En este proyecto se define que con la mejora del factor de potencia y la demanda contratada se establece un ahorro por concepto de energía eléctrica de 7038.88CUC anual, con un tiempo de recuperación de 2.85 años. Por lo tanto mediante este trabajo se pudo obtener las informaciones acertadas acerca de los problemas del elevado importe de energía eléctrica de la planta.

Jefe de Producción

Jefe de la planta.

Anexo 1

Que han representado los costos en moneda nacional de las penalizaciones por bajo factor de potencia y demanda contratada.

Taller Sagua (Miguel)	Penaliz. Por deman. CUC	Penaliz. Por F.P CUC	Costo moneda nacional \$
Noviembre 2008	1110.00	67.49	29437.25
Diciembre 2008	1230.00	193.35	35583.75
Enero 2009	1200.00	140.67	33516.75
Febrero 2009	1185.00	220.76	35144
Marzo 2009	1005.00	269.97	31874.25
Abril 2009	760	121.19	22029.75
Mayo 2009	915.00	240.27	28881.75
Junio 2009	1140.00	261.96	35049
Julio 2009	1170.00	339.53	37738.25
Agosto 2009	1155.00	405.65	39016.25
Septiembre 2009	655.00	254.98	22749.5
Octubre 2009	1060.00	341.96	35049
Noviembre 2009	670.00	345.25	25381.25
Diciembre 2009	0.00	368.43	9210.75
Enero 2010	640.00	331.79	24294.75
Febrero 2010	0.00	393.70	9842.5

Mediciones realizadas en la planta antes de la compensación

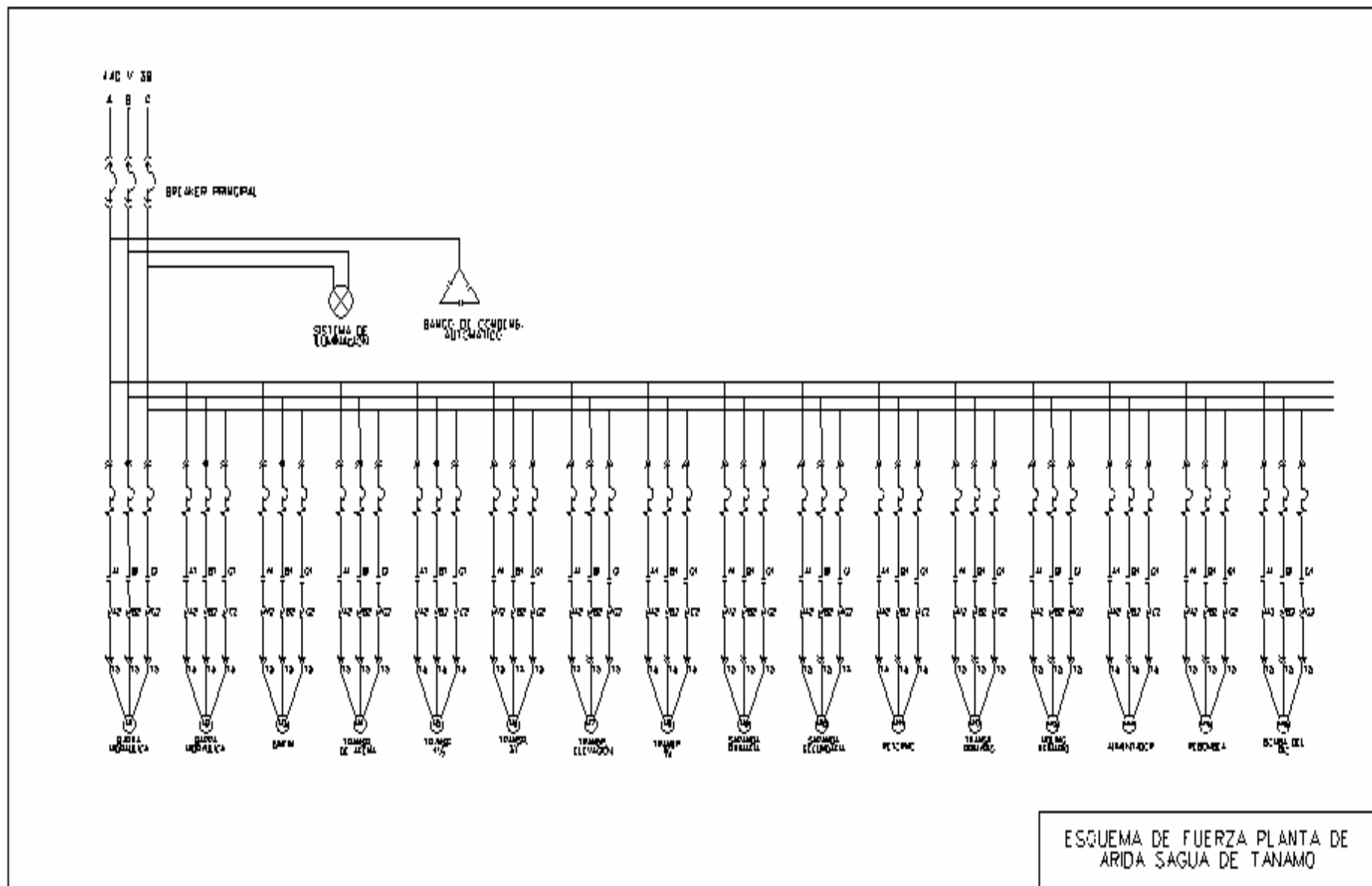
Horas	Ia(A)	Ua(V)	Ib(A)	Ub(V)	Ic(A)	Uc(V)
07:30a.m.	127,4	259,7	117,6	261	161,4	261
07:40a.m.	127,8	260	129,4	260,6	148,2	261,3
07:50a.m.	116,1	260,3	125,4	259,9	143,2	261,6
08:00a.m.	115	259,4	127,2	260,3	141	261,7
08:10a.m.	116,6	259,4	121,4	261,8	153,5	260,8
08:20a.m.	127,8	259	119,1	261,8	147	261,4
08:30a.m.	126,9	259,8	120,7	261,4	152,1	260,8
08:40a.m.	118,2	259,5	137,3	258,9	149,3	261,4
08:50a.m.	126,7	260,1	128,3	260,7	152,1	261,1
09:00a.m.	127,6	259,6	142,5	260,6	163	260,5
09:10a.m.	130	259,4	130,4	261,1	158,3	261,3
09:20a.m.	132,4	259,6	127,5	261,2	161,5	260,6
09:30a.m.	126,2	259,6	120,9	261,2	156,3	260,8
09:40a.m.	117,2	259	125	260,9	155	259,9
09:50a.m.	124,1	258,4	131,6	260,7	156,8	259,9

10:00a.m.	122,5	259,3	129,8	261	151,3	261
10:10a.m.	127,8	259,7	126,5	261,8	141,9	261,3
10:20a.m.	125,5	259,3	126,5	261,8	144,4	261,5
10:30a.m.	123,9	259,5	135,4	258	142	261,2
10:40a.m.	125,6	259,6	128	260,6	144,7	261,4
10:50a.m.	130,1	259,4	132,8	260,6	147,1	261
11:00a.m.	126,6	257,7	132,9	260,9	151	261,8
11:10a.m.	120,8	258,4	138,1	260,3	154	260,6
11:20a.m.	147,4	259,3	136,2	260,7	161	260,1
11:30a.m.	127,3	259,3	128,4	260	164	260,1
11:40a.m.	125,6	258,3	146,3	259,2	140	260,3
11:50a.m.	126,8	258,7	143,6	259,8	138,6	260,7
12:00m	127,9	259,3	133,1	260,38	134	261
12:10p.m	127,8	259,3	134,8	260,8	129,5	261,7
12:20p.m	129,4	259	128,1	260,8	137	261,3
12:30p.m	119,8	259,4	127,9	261,1	144	261
12:40p.m	126,4	258,9	129	261,3	143,1	261
12:50p.m	124,3	259,1	126,4	261,3	135,9	261,1
01:00p.m	134,3	259,3	128,4	261,9	146	261
01:10p.m	119,2	259,3	129,1	261,8	146,8	260
01:20p.m	123,6	259,5	121,4	261,5	149,6	260
01:30p.m	127,1	259,5	122,8	260,4	140,6	260,7
01:40p.m	127,7	259,8	121,5	261,6	137,4	260,7
01:50p.m	115,7	259	125,6	261,7	145,3	260,9
02:00p.m	119,5	258,7	119,8	261,3	142,6	261,2
02:10p.m	121,1	259,6	119	261,5	144,7	261,8
02:20p.m	118	258,4	119,2	261,5	145,1	260,5
02:30p.m	116,5	258,4	120,3	262,4	165,7	260,9
02:40p.m	131,2	257,6	120,4	262,3	149,4	261,3
02:50p.m	130,1	258,5	123,1	263,5	158,1	261
03:00p.m	146,8	258	125,2	261,2	149,5	261,2
03:10p.m	129,2	258,8	123	260,1	146,4	259
03:20p.m	135,1	258,4	123,5	260,5	141,4	260,3
03:30p.m	131	258,4	120,4	260,3	143,4	260,4
03:40p.m	129,1	258,6	123,5	260,4	146,9	261,5
03:50p.m	136	258,4	124,2	261,2	142,6	260,9
04:00p.m	126	258,5	123,5	263,4	139,7	261,6
04:10p.m	129,4	259,7	123	262,6	132,4	261,4
04:20p.m	123,3	258,6	123,8	262,9	135,3	261,6
04:30p.m	131	259,3	123,5	262,1	141,6	260,1
04:40p.m	122,9	259,5	124,1	260,1	152,3	261,9
04:50p.m	127	259,3	124,3	260,8	140,2	261,8
05:00p.m	128	259,6	125,3	260,9	139,8	261,4
05:10p.m	128	259,3	125,6	261,5	139,4	260,9

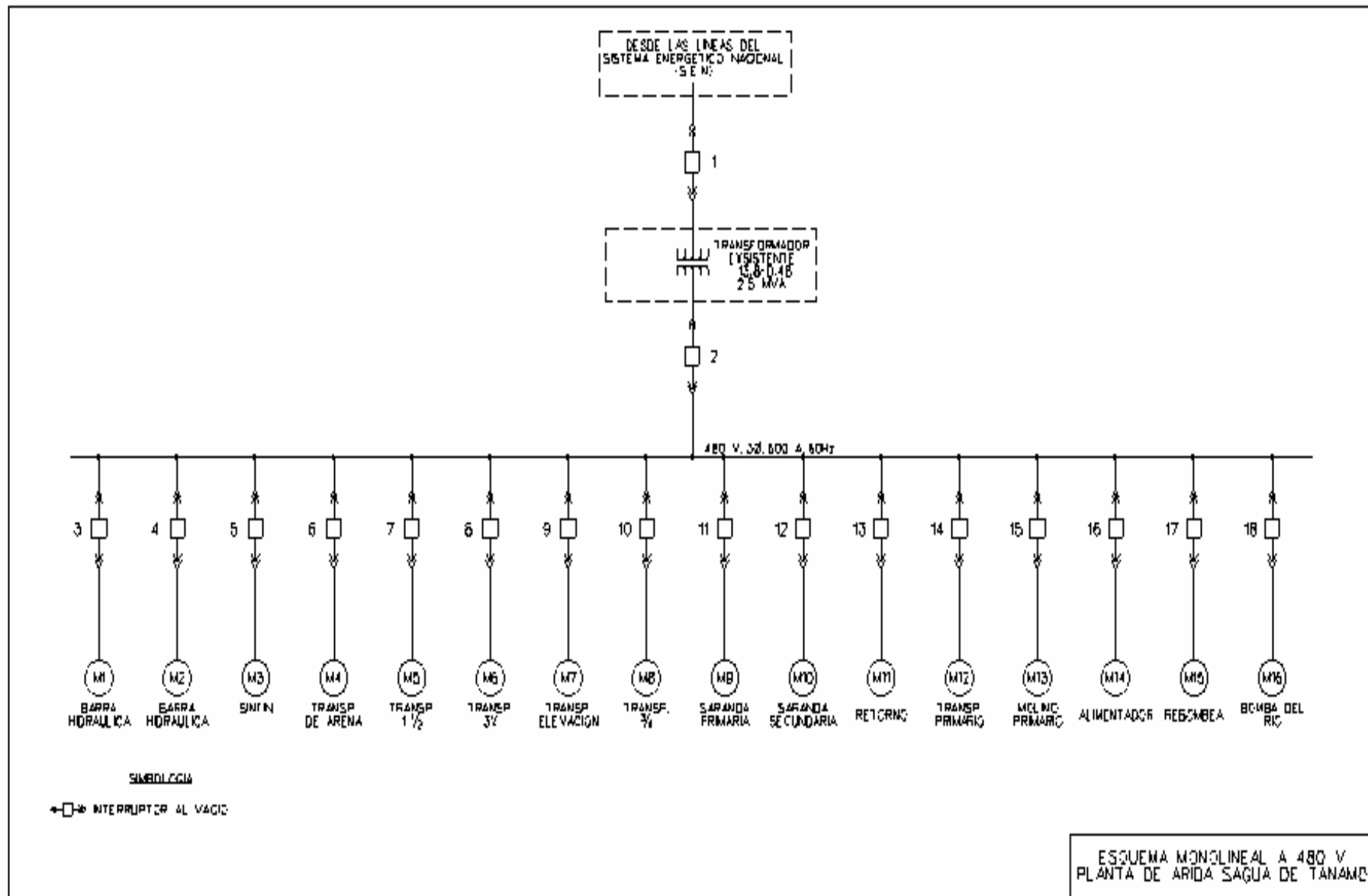
Después de la compensación

Horas	Ia(A)	Ua(V)	Ib(A)	Ub(V)	Ic(A)	Uc(V)
07:30a.m.	126,2	259,8	170,2	259,9	189,3	260,8
07:40a.m.	117,2	259,5	168,6	261,4	187,9	260,5
07:50a.m.	124,1	259,6	165,3	261,1	187,3	261,3
08:00a.m.	122,5	259,6	159,9	261,2	170,6	259,9
08:10a.m.	127,8	259	160,3	260,6	178,6	261,3
08:20a.m.	125,5	259,7	165,2	260,9	178,6	261,7
08:30a.m.	123,9	259,3	150,2	260,3	178	261,4
08:40a.m.	125,6	259,5	150,3	261,8	180,6	261,2
08:50a.m.	130,1	259,6	150	258,9	190,2	261,4
09:00a.m.	126,6	259,3	146,3	261,2	200,3	260,1
09:10a.m.	120,8	258,7	158,9	260,9	205,3	261,2
09:20a.m.	147,4	259,3	158,3	260	208,3	259
09:30a.m.	119,5	259,4	140,3	263,4	203,1	260,3
09:40a.m.	116,5	259,3	140,9	262,1	196,3	260,4
09:50a.m.	130,1	259,4	142	261,5	180,3	261,4
10:00a.m.	135,1	258,7	141	261,9	190,5	260,9
10:10a.m.	123,3	259,3	142,3	262,1	170,3	260
10:20a.m.	122,9	259,3	143,6	262,3	160,5	260,7
10:30a.m.	127,4	259,5	146	260,3	172,3	260,9
10:40a.m.	115	259	146,3	260,4	174,2	260,5
10:50a.m.	116,6	259,6	145,8	262,1	189,3	261,3
11:00a.m.	126,9	259,5	150,2	260,8	180,6	259,9
11:10a.m.	127,8	259	150,3	261,8	190,2	259,9
11:20a.m.	126,6	259,6	150,2	260,7	200,3	261
11:30a.m.	120,8	258,4	150,9	261,2	190,5	261,5
11:40a.m.	147,4	258,5	151,3	260,9	187,3	261,2
11:50a.m.	125,6	258	151,8	260,6	178,6	261,5
12:00m	127,9	258,8	151	260,9	203,1	260,1
12:10p.m.	129,4	258,4	152,3	260,7	180,3	261,7
12:20p.m.	119,8	259,7	151,1	259,2	172,3	261,3
12:30p.m.	124,3	259,5	148	260,6	189,3	260,8
12:40p.m.	158	259,6	148,8	260,3	200,3	261,3
12:50p.m.	157,6	260,9	148,7	258,9	187,3	260,8
01:00p.m.	154,3	260,3	148,2	263,4	203,1	259,9
01:10p.m.	145,3	260,38	147,3	262,3	178,6	261,3
01:20p.m.	125,3	260,8	146,9	261,8	178	259,63
01:30p.m.	140,2	260,8	158,3	260	190,2	259,8
01:40p.m.	125,3	259,6	140,9	261,2	192,3	260,2
01:50p.m.	132,5	258,4	143,6	259,2	187,3	259,8
02:00p.m.	150,2	258,4	150,2	258,9	184,2	258,6

02:10p.m	150,9	259,7	151	262,3	189,3	260,5
02:20p.m	154,6	259,5	148	260,6	190,3	261,2
02:30p.m	154,8	259,3	150	258	190,7	262,5
02:40p.m	154,9	258,9	158,9	260,6	192,5	261,8
02:50p.m	152,3	260,7	142	260,7	193,4	262,1
03:00p.m	135,1	260,6	141	260	196,2	260,8
03:10p.m	131	261,2	145,8	259,2	193,2	261,3
03:20p.m	129,1	259	148,7	259,8	187,3	260
03:30p.m	136	259,1	158,3	261,5	178,6	259,9
03:40p.m	126	259,5	150,2	261,9	190,2	258,6
03:50p.m	129,4	259	148	262,1	187,3	262,5
04:00p.m	123,3	257,6	151,8	260,6	189,3	260,8
04:10p.m	131,2	258,4	151,1	258,9	192,5	260
04:20p.m	130,1	259,3	148,2	259,2	198,3	260,7
04:30p.m	146,8	261,2	147,3	260,2	179,9	261,3
04:40p.m	129,2	263,4	150,2	261,6	180,3	259,9
04:50p.m	122,9	262,9	158,9	261,5	182,6	261,5
05:00p.m	127	260,1	148,7	263,2	170,6	259,9
05:10p.m	140	257,63	149,5	263,4	178,2	258,7



Plano eléctrico de La Planta de Beneficio de Áridos Miguel, Sagua de Tánamo.



Monolineal actualizado de la planta.

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.

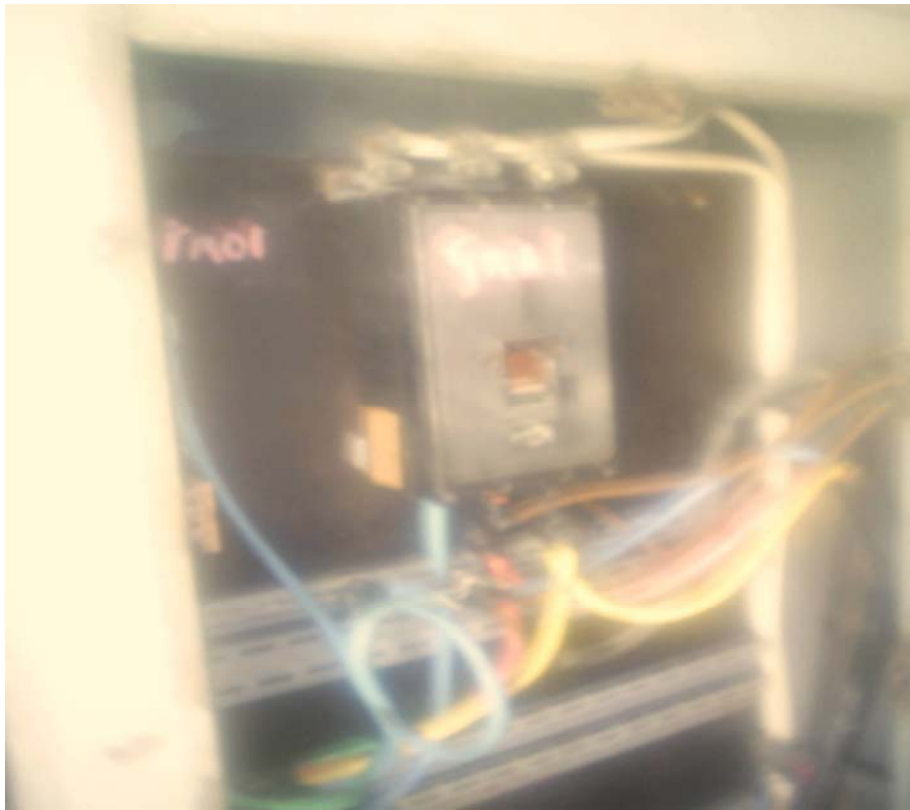
Anexo 2 Fotos de la planta y equipos



Planta de beneficio de áridos



Área de almacenamiento del árido ya clasificado.



Estado de las pizarras de control

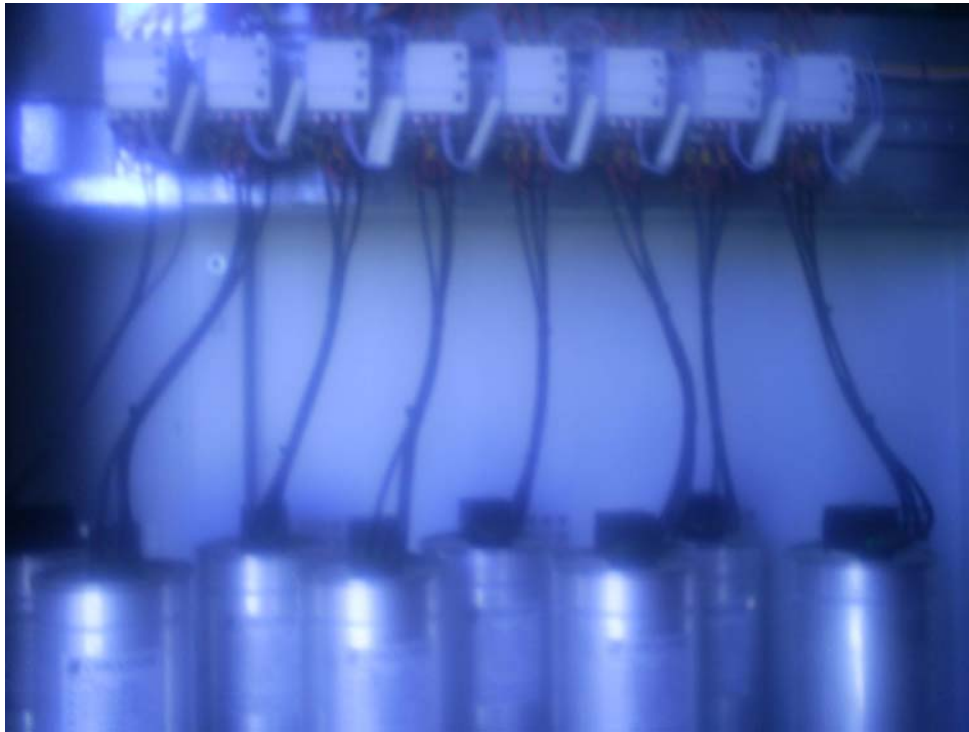




Área de trabajo.



Circuitor del banco de condensadores automático.



Capacitores del banco de condensadores.



Protección de los condensadores del banco



Turbina