



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NUÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD METALURGIA y ELECTROMECAICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma en opción al título:

De

Ingeniero Eléctrico

*Título: Diagnóstico del sistema eléctrico en el Establecimiento Lácteo
Baracoa.*

Autor: Yohan Francisco Paumier Frómeta.

Tutor (es): M.Sc. Yordan Guerrero Rojas.

M.Sc. Gabriel Hernández Rojas.

Moa 2013.

Año 55 de la Revolución.

Declaración de autoridad.

Yo: Yohan Francisco Paumier Frómeta.

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

Firma del Tutor.

Firma del Tutor.

Firma del Diplomante.

Dedicatoria.

Este trabajo está dedicado a mis queridos padres Francisco Paumier López y Georgina Frómeta Paumier por haberme dado la vida y guiarme siempre por el camino correcto.

A mis hermanos Yamaris Paumier Frómeta y Gehan Francisco Paumier Frómeta por representar tanto para mí.

A mi familia que siempre me han brindado apoyo y confianza.

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

Agradecimientos.

Quiero expresar mi agradecimiento a todos los que de una forma u otra han colaborado en la realización de este trabajo; pero entre ellos desearía nombrar de forma explícita a mi tutor M.Sc Yordan Guerrero Rojas y mi consultante M.Sc Yodelkis Delgado Drubey.

Particular mención requieren mi compañero de trabajo Ivan Campo Yacer, mi primo Andro, Julio Domínguez por brindarme su apoyo en un momento tan difícil pero importante para mí.

Pensamiento

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

...Aristóteles

Resumen.

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

Abstract.

The present work has as purpose the revision of the electric system of the milky establishment of Baracoa for the identification of the main deficiencies in it, the biggest consumers; besides to carry out the monolineal of the company and to establish the correspondence between the installed power and the capacity of distribution of the determination of main transformer. By means of the realization of the rising of the loads, the reserves in the use of the energy were settled down, the main consumers were identified and there were implanted organizational measures that will allow to elevate the efficiency and to reduce the electricity costs. It was deepened in the electricity study starting from the processing of mensurations carried out in the main bar and in the production lines, expressing the results by means of the use of basic statistical tools.

Índice.

Introducción general.....	1
Problema:	2
Hipótesis:	2
Objetivo General:.....	2
Objetivos específicos:.....	2
Objeto de estudio:.....	2
Campo de acción:.....	2
Tareas:.....	3
Resultados esperados:	3
Capítulo 1. Fundamentos teórico-metodológicos de la investigación.....	4
1.1 Introducción.	4
1.2 Estado del arte.....	4
1.3 Eficiencia energética.....	7
1.4 Herramientas y métodos de cálculo.....	10
1.4.1 Selección de los conductores.....	10
1.4.2 Cálculo de la corriente de cortocircuito para ajuste de corriente de corte en dispositivos de protección.	14
1.5 Análisis de eficiencia en motores asincrónicos.....	17
1.5.1 Servicios nominales de los motores eléctricos.....	20
1.5.2 Dispositivos elementales en accionamientos de motores.	23
1.6 Normas de selección de protecciones para baja tensión.....	28
1.6.1 Selección de interruptores automáticos.	31
1.7 Fundamentos generales acerca de la selección del número y potencia de los transformadores de fuerza.....	32
1.7.1 Selección de la potencia de los transformadores.....	33
1.7.2 Selección de trabajo económico de los transformadores.....	35
1.8 Método de cálculo para las pérdidas por transformación.....	36
1.9 Conclusiones del capítulo.....	38
Capítulo 2. Sistema eléctrico de la Instalación.....	39
2.1 Introducción.....	39
2.2 Caracterización de la instalación objeto de estudio.....	39

2.3 Sistema de Suministro Eléctrico.	40
2.3.1 Estado de los principales paneles eléctricos. Principales problemas.....	40
2.4 Estado de los dispositivos de protección.	42
2.5 Levantamiento de cargas instaladas.	43
2.6 Principales magnitudes eléctricas de la instalación.	44
2.6.1 Comportamiento de las variables eléctricas en el panel de la barra principal.	44
2.7 Selección de conductores.....	48
2.8 Actualización del monolineal y esquemas de paneles eléctricos principales.....	49
2.9 Facturas de electricidad y demanda contratada.	50
2.10 Conclusiones del capítulo.	51
Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	52
3.1 Introducción.	52
3.2 Análisis de las mediciones realizadas en el nodo principal, los ramales principales y los equipos de mayor demanda.	52
3.2.1 Conclusiones de las mediciones.....	52
3.3 Selección de conductores.....	52
3.4 Selección de dispositivos de protección.	55
3.5 Medidas de mejora de la eficiencia en la instalación.	55
3.6 Valoración económica del trabajo.	56
3.7 Conclusiones del capítulo.	57
Conclusiones.....	58
Recomendaciones.....	59
Bibliografía.	60
Anexos. -	62

Introducción general.

Resulta imprescindible en la situación actual de la economía global la reducción del consumo de energía eléctrica y de los costos asociados a esta, por lo que se ha de lograr el incremento de la operación eficiente de los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicios.

En Cuba se han realizado grandes esfuerzos encaminados a elevar la eficiencia de los procesos productivos de las diferentes ramas industriales, con vista a alcanzar los más altos rendimientos económicos. La aplicación de medidas que son realizables desde el punto de vista técnico y económico, son de suma importancia en el sector de los servicios. La utilización racional de la energía requiere de métodos racionales que enfoquen la solución del sobreconsumo, excesos de pérdidas y explotación de las instalaciones en el ámbito técnico, económico y ambiental. Para ello el país ha instaurado organizaciones como ONURE (Oficina Nacional de Uso Racional de la Energía) y establecido el cumplimiento de normas internacionales como la ISO 50001. Estas acciones responden principalmente al cumplimiento de los lineamientos del Partido Comunista de Cuba que rige la política económica y ambiental del país.

Como consecuencia de que el establecimiento lácteo de Baracoa ha ido aumentando y diversificando sus prestaciones de servicios y productos destinados a diferentes sectores como son: comercio y gastronomía, educación, turismo y otras instituciones del gobierno; se comenzó a experimentar un sobreconsumo y penalizaciones por bajo factor de potencia por lo que es necesario buscar soluciones en aras de mejorar la eficiencia energética de la empresa.

Situación Problemática:

En el establecimiento lácteo de Baracoa se incurre en frecuentes penalizaciones por parte de la empresa eléctrica del territorio debido a bajo factor de potencia; así como a un cobro excesivo en factura por consumo de energía. Las causas se fundamentan por los directivos de la empresa quienes señalan el deterioro apreciable de las líneas de alimentación a los motores y accionamientos, motores subcargados, conductores mal seleccionados y desajustes en la demanda contratada.

Estas afectaciones inciden de manera determinante en el consumo energético de la entidad. El elevado importe de la energía eléctrica y el bajo factor de potencia para la carga instalada, requieren de un análisis energético capaz de identificar las principales causas.

Problema:

Desconocimiento del estado actual del sistema eléctrico del Establecimiento Lácteo de Baracoa que provoca un elevado importe de energía eléctrica y bajo factor de potencia.

Hipótesis:

Si se realiza un análisis del sistema de suministro del Establecimiento Lácteo de Baracoa es posible detectar las causas que conllevan al pago de elevadas cuantías por concepto de energía y penalización por bajo factor de potencia.

Objetivo General:

Evaluar el sistema de distribución eléctrica del Establecimiento Lácteo de Baracoa para determinar el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas.

Objetivos específicos:

1. Documentar el fundamento teórico de la investigación.
2. Determinar las causas que provocan que el consumo del Establecimiento Lácteo de Baracoa sea elevado y el factor de potencia sea bajo.
3. Proponer un plan de medidas para la disminución del consumo del portador energético electricidad.

Objeto de estudio:

Sistema eléctrico del Establecimiento Lácteo de Baracoa.

Campo de acción:

Diagnóstico de instalaciones eléctricas en plantas industriales.

Tareas:

1. Análisis del sistema eléctrico del establecimiento lácteo de Baracoa.
2. Obtención de las principales magnitudes eléctricas (voltaje, corriente, potencia, energía, factor de potencia) en los circuitos y en los equipos eléctricos.
3. Determinación de la relación entre la demanda de la entidad y la capacidad instalada en el banco de transformadores de alimentación.
4. Redacción de las indicaciones para el plan de medidas de disminución del consumo del portador energético electricidad.

Resultados esperados:

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

Capítulo 1. Fundamentos teórico-metodológicos de la investigación.

1.1 Introducción.

En el presente capítulo se desarrollan los aspectos teóricos fundamentales que dan sustento a la investigación, tratando temas para la selección de conductores eléctricos, los métodos de cálculo para la selección de protecciones eléctricas, el análisis de la eficiencia energética y elementos de accionamientos en motores eléctricos, el cálculo de pérdidas de transformación, así como los criterios para la selección de potencia y número de transformadores.

1.2 Estado del arte.

La eficiencia energética y el uso racional de la energía presentan en estos momentos una necesidad de desarrollo sustentable, donde la industria, los servicios y el sector residencial tienen que realizar importantes esfuerzos.

La fuente de energía más barata es la eficiencia energética, por tanto se sabe que es generalmente en el equipo, el sistema o la tecnología donde se producen las pérdidas. El problema fundamental para explotarla lo constituye la determinación del lugar donde éstas se producen, su evaluación en cantidad y calidad, la identificación de las causas que la producen, las vías que conducen a su reducción o eliminación, la evaluación del costo-beneficio de cada una de estas vías, el seguimiento de la aplicación de la decisión adoptada y su control así como la valoración técnico-económica final del proceso. (GARCÉS GALLARDO, 2009)

En la actualidad se han realizado estudios en otras entidades pasteurizadoras en materia de eficiencia energética, que han arrojado resultados relevantes en el ahorro de portadores energéticos, y han permitido implementar medidas para lograr el aumento de la eficiencia y la productividad.

En el trabajo realizado por (SÁNCHEZ TORRES, 2003) en el Combinado Lácteo “Rafael Freire Torres” de Holguín, se abordan temáticas como propuestas de cogeneración de energía eléctrica mediante fuentes alternativas, que proporcionan considerables ahorros en materia de portadores energéticos, como son:

Autor: Yohan Francisco Paumier Frómeta

- Modernización de las calderas.
- Incremento del uso de la cogeneración.
- Introducción de pequeños paneles fotovoltaicos.

En dicho estudio se logró establecer una estrecha relación entre el rol de la eficiencia energética y la competitividad, por otra parte se infiere que al mejorar la calidad, aumenta la productividad y la competitividad en calidad y precio. También plantea que la eficiencia energética en la competitividad de la empresa debe observarse de dos formas: como un elemento independiente que actúa directamente en el costo del producto o servicio y como un paso de mejora de la calidad que disminuye los costos.

En sentido general y a raíz de los resultados de diagnóstico energético (SÁNCHEZ TORRES, 2003), se lograron implantar medidas que llevaran al sistema a funcionar con una eficiencia óptima, se atacaron las debilidades y resaltaron las potencialidades tanto en el personal que trabaja en la entidad como en los puestos de trabajo.

Como seguimiento a los estudios realizados en entidades similares se tiene en cuenta el que se llevó a cabo en el Combinado de Helados y Quesos de la provincia de Granma (HERNÁNDEZ BATISTA, 2008), en el cual se trabaja por optimizar los consumos de portadores energéticos frente al impacto de la actual crisis económico-financiera de nuestro país. Entre las múltiples medidas adoptadas por el combinado están la paralización durante dos horas, en el horario pico, de los agitadores de los tanques de envejecimiento de la mezcla del helado, lo cual no perjudica la calidad del producto logrando un ahorro de 6 MWh al mes, y poner en funcionamiento las calderas en el momento específico que cada área necesite y solicite el vapor. Antes estaban encendidas todo el día. Como otra de las medidas adoptadas está la sustitución de las esteras eléctricas por manuales, con un sistema de rodillos, las que se utilizan para llevar los cubos de helado del departamento de elaboración hasta la nevera.

Con estas soluciones el establecimiento ahorra cerca de 11 MWh al mes, como también lo es los 0.3 MWh que dejan de gastarse con el uso de la gatera, una puerta pequeña de un metro cuadrado por donde extraen los galones de helado de la nevera. Tal operación se hacía abriendo la puerta grande de la nevera de alrededor de seis metros

cuadrados por donde se escapaba mayor cantidad de frío. El programa de ahorro del combinado bayamés le permitirá aprovechar 97.6 MWh al mes.

En (GARCÉS GALLARDO, 2009) se realiza el estudio de eficiencia energética en el Combinado Lácteo El Vaquerito del municipio Moa, provincia Holguín. Este trabajo tuvo la finalidad conformar una propuesta de Sistema para la Gestión Energética, tomando como punto de partida el análisis de estudios precedentes en empresas similares y en otras entidades, así como el análisis de los consumos de portadores energéticos en la empresa y sus costos asociados. Mediante la realización del diagnóstico energético, se establecieron las reservas en el uso de la energía e implantaron medidas organizativas y de inversión que permitirían elevar la eficiencia y la gestión energética hacia el punto más óptimo, las que posteriormente se analizan técnica y económicamente. Se definieron los principales puestos claves de consumo de energía y se calcularon y establecieron nuevos índices de consumo por producto. Se profundizó en el estudio del portador electricidad a partir del procesamiento de mediciones realizadas en la barra principal y en las áreas, expresando los resultados mediante la utilización de herramientas estadísticas básicas. También se propuso dar los primeros pasos en la implementación de un Sistema Automatizado para la Gestión Energética que permitirá un mejor manejo y administración de la información y los consumos de portadores energéticos.

En (RODRÍGUEZ SANCHEZ, 2010) se realiza un trabajo que tiene como finalidad la revisión del sistema eléctrico del Centro de Investigación Siderúrgica de Nicaro para la identificación de las principales deficiencias en el mismo, los mayores consumidores; además de realizar el monolineal de la empresa y establecer la correspondencia entre la potencia instalada y la capacidad de distribución del transformador principal. Mediante la realización del levantamiento de las cargas, se establecieron las reservas en el uso de la energía, se identificaron los principales consumidores e implantaron medidas organizativas y de inversión que permitirán elevar la eficiencia y reducir los costos de electricidad.

De los libros de texto consultados los más significativos son los siguientes:

En (VOLDEK I, 1983) se expone en el siguiente orden: máquinas de corriente continua, transformadores, máquinas asincrónicas, máquinas asincrónicas monofásicas y polifásicas, máquinas sincrónicas y máquinas de corriente alterna a colector. En el tomo I del libro dedicada a la máquinas corriente continua, también se aclaran cuestiones que aparecen generalmente en grados importantes para todos los tipos de máquinas eléctricas, en el tomo II de Maquinas Eléctricas aparecen cuestiones de estudios como el cálculo de circuito magnético, índice técnico económico de la máquina, la carga electromagnética y la velocidad de rotación así como el diagrama energético de una maquina asincrónica.

En (FEODOROV A, RODRÍGUEZ LÓPEZ, 1987) se resumen las cuestiones fundamentales de empresas industriales, tales como: cargas eléctricas, selección de los sistemas de suministro eléctrico industriales, fundamentos de los cálculos técnicos económicos, compensación de la potencia reactiva, determinación de la zona de dispersión del centro de cargas eléctricas, la localización de la subestación de alimentación y otras cuestiones que determinan la ausencia del trabajo de los sistemas de suministro eléctrico. El texto se ha elaborado para que sirva a los estudiantes de la especialidad de electro – energética, especialización electrificación industrial, de nuestros centros de educación superior, pero pueden ser utilizados por los ingenieros y técnicos ocupados en el área de suministro eléctrico de empresas industriales. (GARCÉS GALLARDO, 2009).

Durante la revisión bibliográfica se pudo apreciar que existen varios estudios en función del análisis de sistemas eléctricos, diagnósticos y libros de textos con abundante información teórico práctica relacionada con la temática tratada. En el caso del establecimiento Lácteo Baracoa no se han realizado estudios de diagnóstico general de la instalación.

1.3 Eficiencia energética.

A raíz de lo antes expuesto en América Latina y el Caribe, la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) considera que mediante el uso eficiente de la energía podría reducirse el consumo de portadores energéticos de la región entre el 10 y 20% en corto y mediano plazo. (SÁNCHEZ TORRES, 2003).

Autor: Yohan Francisco Paumier Frómeta

En Cuba (BORROTO NORDELO, 2006) de la Comisión Internacional de Energía consideró que por esta vía, con inversiones menores y de rápida recuperación (menores de 1,5 años) se logrará un ahorro anual del 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. (GARCÉS GALLARDO, 2009).

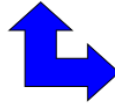
Es imprescindible reducir la dependencia de la economía del petróleo y los combustibles fósiles. Es una tarea primordial debido a la amenaza del cambio climático global y los problemas ambientales serios que hacen que a medio plazo, no se pueda seguir utilizando como forma de vida una fuente de energía no renovable que se va agotando y deteriorando paulatinamente. Hay que señalar además que aprender a obtener la energía de forma económica y respetuosa con el medio ambiente, es un deber elemental de justicia. (GARCÉS GALLARDO, 2009). Es por ello que se han creado organizaciones internacionales que normalizan el uso racional de la energía, tal es el caso de la Organización Internacional de Estandarización (ISO) por sus siglas en inglés, quien ha emitido la norma 50001 obligando a las empresas a velar por su eficiencia energética y garantizar un desarrollo sustentable.

Usar eficientemente la energía significa no emplearla en actividades innecesarias, realizar las mismas tareas con el mínimo consumo de energía posible. Desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía sin afectar el medio ambiente constituye el aspecto fundamental para lograr un auténtico desarrollo sustentable.

En la figura 1 se muestra un esquema que resume el concepto de eficiencia energética a los requerimientos actuales.

¿En qué consiste la Eficiencia Energética?

Menos consumo de energía por unidad de producto o servicio



Más y mejores productos y servicios con el mismo consumo de energía

Nivel de Producción o Servicios



- ✓ Requisitos de Calidad
- ✓ Menor consumo energético
- ✓ Menor costo
- ✓ Menor impacto ambiental

Figura 1.1 Patrón de eficiencia energética para las condiciones actuales.

Prestar y desarrollar mayor cantidad y mejores productos y servicios con el menor consumo de energía manteniendo los requisitos de calidad, costo y sobre todo mínimo impacto ambiental, es un desafío para todas las empresas cubanas.

Al aplicar un sistema de gestión energética se toman acciones encaminadas a reducir consumos energéticos por unidad de producto manufacturado, cumpliendo a su vez con los objetivos de calidad en el uso de la energía del sector industrial. (CAMPOS AVELLA, 1998), para ello se debe realizar una serie de pasos importantes que se listan a continuación.

1. Concientización acerca de la importancia que tiene la implementación de un sistema de gestión energética, por medio de charlas al personal de operarios y supervisores del área de producción.
2. Visita de reconocimiento para la familiarización con los sistemas de equipos con los que cuenta la empresa.
3. Levantamiento de esquemas de funcionamiento de toda la planta de producción.
4. Caracterización energética de la empresa.
5. Censo de carga de los equipos que tiene el área de producción.
6. Monitoreo, evaluación y diagnóstico de los sistemas presentes en la empresa: Motores para el área de hidráulica, banco de condensadores, compresores, la tubería de aire comprimido.

Autor: Yohan Francisco Paumier Frómeta

7. Identificación de los indicadores de control energético.
8. Establecimiento de normas y recomendaciones para prácticas operativas más eficientes.

1.4 Herramientas y métodos de cálculo.

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

- 1 Dispositivos de protección.
- 2 Conductores eléctricos.
- 3 Transformadores eléctricos.

1.4.1 Selección de los conductores.

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

1. Método que determina la carga a través del producto de la magnitud de la potencia por un coeficiente menor que la unidad;

$$P_c = K_{da} \cdot P_n \quad (1.1)$$

Donde:

P_c es la potencia de carga.

P_n es la potencia nominal.

K_{da} es el coeficiente de demanda utilizado en función del coeficiente de utilización (tabla 1.1).

2. Método que determina la carga por medio del producto de la magnitud de la potencia media por un coeficiente mayor o igual que la unidad;

$$P_c = K_{da} \cdot P_m \quad (1.2)$$

Donde P_m es la potencia media.

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

Tabla 1.1 Valores de coeficiente de utilización y demanda.

K_u	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
K_{da}	0,5	0,6	0,65-0,7	0,75-0,8	0,85-0,9	0,92-0,95

Además de los coeficientes de utilización y demanda (Tabla 1.1), se cuenta además con el coeficiente de simultaneidad, que puede estar en función de la cantidad de consumidores, como se muestra en la Tabla 1.2. Este factor se aplica a cada grupo de carga (alimentadas desde un panel de distribución). La determinación de estos factores es una responsabilidad del diseñador, porque requiere un conocimiento detallado de la instalación y las condiciones en las que se van a explotar los circuitos individuales. Por esta razón no es posible dar valores precisos de aplicación. (CUADERNO ELECTROTÉCNICO CUBANO, 2008).

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

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

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

1. Por calentamiento.

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

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

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

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

Sobre la base de las condiciones ambientales y temperatura admisible se fabrica y clasifica el aislamiento de los conductores eléctricos, tal como se ve en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Clasificación de aislamiento para conductores eléctricos.

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

Termoplástico	T	60°C
Termoplástico resistente a la humedad	TW	60°C

2. Por caída de voltaje.

La caída de voltaje en los conductores y en los circuitos de corriente alterna se debe a la resistencia de los mismos al paso de la corriente y a la reactancia (inducción). El calor desarrollado por la disipación de la potencia en el alambre, deteriora el aislamiento del conductor, por tanto para evitar un pobre rendimiento y otros posibles efectos, los conductores de los circuitos deben de seleccionarse para que mantengan la caída de tensión en dicho circuito dentro del 3%. (RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, 2010).

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

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

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

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

$$DU_L = \sqrt{3} \cdot DU_f \quad (1.3)$$

3. Por demanda máxima.

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

$$I_b = \frac{S_{\max} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (1.4)$$

Donde,

S_{\max} es la demanda máxima real en kVA.

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

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

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

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

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se parte del razonamiento que facilita la figura 1.2.

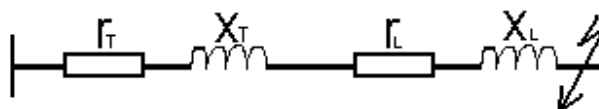


Figura. 1.2 Sección de una fase cortocircuitada en un punto de la línea.

Autor: Yohan Francisco Paumier Frómeta

r_T Resistencia del transformador.

r_L Resistencia de la línea.

x_T Reactancia del transformador.

x_L Reactancia de la línea.

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

Partiendo de los datos conocidos son seleccionadas las magnitudes bases:

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

S_b Valor de referencia

U_b Valor de referencia

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

$$Z_b = \frac{V_b}{\sqrt{3} \cdot I_b} \bullet Z_{bfase} = \frac{V_b \cdot fase}{\sqrt{3} \cdot I_b \cdot fase}$$

Seguidamente:

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

Donde, r_{t^*}, x_{t^*} ; r_{L^*}, x_{L^*} resistencias y reactancias del transformador y la línea, expresadas en unidades relativas, referidas a las condiciones bases y se determina la

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

$$I_{cc} = \frac{U^*}{Z_{cc}} \quad (1.5)$$

Donde:

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

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

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

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

Z_{cc} Impedancia de cortocircuito.

I_{cc} Corriente de cortocircuito.

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

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

En la tabla 1.4 se muestran los factores de los interruptores para una determinada temperatura.

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

C60H: curva C. C60N: curvas B y C (temperatura de referencia: 30 °C)									
Específic. (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,5
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2
NS250N/H/L (temperatura de referencia: 40 °C)									
Específic. (A)	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C				
TM160D	160	156	152	147	144				
TM200D	200	195	190	185	180				
TM250D	250	244	238	231	225				

1.5 Análisis de eficiencia en motores asincrónicos.

Existen problemas en el funcionamiento de los motores asincrónicos tales como en la transformación de la energía eléctrica aprovechada en la red, en energía mecánica, 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.

La eficiencia de una máquina se determina con la relación de utilización o de la potencia de salida P_2 a la potencia de entrada P_1

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \text{ o en por ciento } \eta \% = \left[\frac{P_2}{P_1} \right] \cdot 100$$

Método directo e indirecto para la determinación de la eficiencia:

Directo: La determinación de la eficiencia según los valores experimentales de P_1 y P_2 pueden ser inexactos, ya que P_1 y P_2 son magnitudes aproximadas y su determinación experimental están vinculadas con errores. La dificultad y deficiencia se presenta en la medición de la potencia mecánica.

Por eso el GOST11828-66 especifica para la máquina con $\eta > 70\%$ el **método indirecto** de determinación de la eficiencia, por el cual mediante datos experimentales se determina la suma de las pérdidas $P\Sigma$. Sustituyendo en la fórmula

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \text{ a } P_2 = P_1 - P\Sigma$$

Se obtiene esta ecuación:

$$\eta = 1 - \frac{P\Sigma}{P_1} \text{ y aplicando la entrada } P_1 = P_2 + P\Sigma$$

Se obtiene la fórmula:

$$\eta = 1 - \frac{P\Sigma}{P_2} + P\Sigma$$

Diagrama energético del motor asincrónico.

El motor asincrónico consume de la red la potencia activa:

$$P_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

Una parte de esta potencia, se pierde en forma de pérdida eléctrica Pe_{l1} , en la resistencia del enrollado primario o del estator.

$$Pe_{l1} = m_1 \cdot I_1^2 \cdot r_1$$

Otra parte en forma de pérdidas magnéticas Pm_1 en el núcleo del estator (circuito primario).

$$Pm_1 = m_1 \cdot I_m^2 \cdot r_m$$

En la figura 1.3 se muestra el proceso de transformación de la energía eléctrica suministrada al motor en energía mecánica en el árbol.

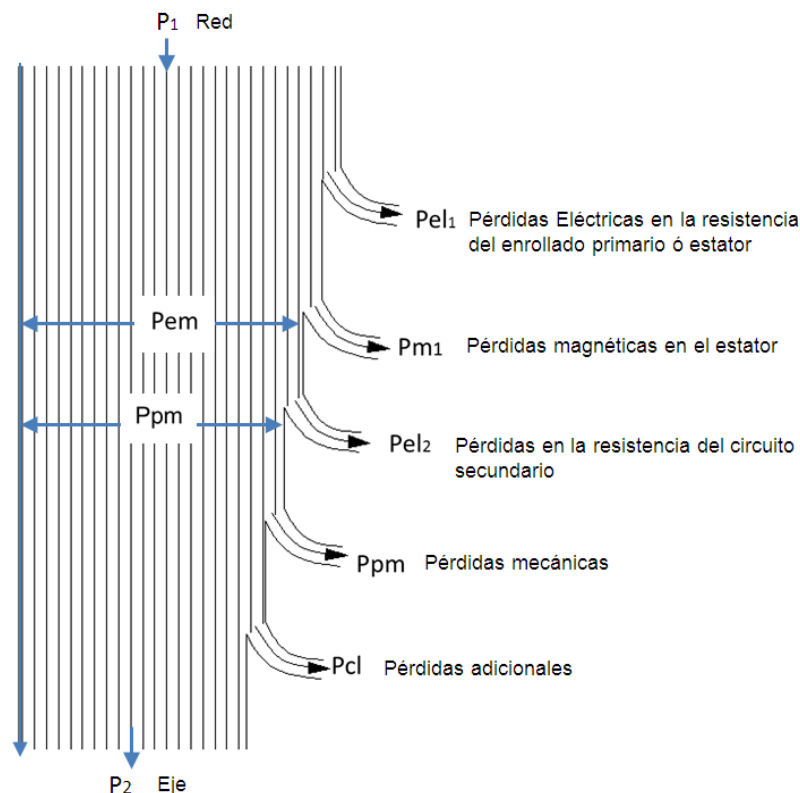


Figura. 1.3 Proceso de transformación de la energía eléctrica suministrada al motor en energía mecánica en el árbol.

La potencia que queda:

$$P_{em} = P_1 - P_{el_1} - P_{m_1}$$

Representa la potencia electromagnética transmitida por medio del campo magnético desde el estator al rotor. Parte de esta potencia, se pierde en forma de pérdida eléctrica P_{el_2} en la resistencia del circuito secundario.

$$P_{el_2} = m_2 \cdot I_2^2 \cdot r_2$$

El resto de la potencia se convierte en potencia mecánica P_{pm} desarrollada en el rotor, una parte de la potencia mecánica se pierde en la propia máquina en forma de pérdidas mecánicas, debido a la fricción de los cojinetes y en las escobillas de las máquinas con rotor bobinado si estas durante el trabajo no se levantan, de pérdidas magnéticas en el núcleo del rotor y de pérdidas adicionales provocadas por los armónicos superiores de los campos magnéticos.

1.5.1 Servicios nominales de los motores eléctricos.

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

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

- Continuo.
- Temporal.
- Intermitente periódico.
- Intermitentes con arranque frecuentes.
- Intermitente con arranques y frenaje eléctrico.
- Continuo, con carga intermitente.
- Continuo, con cargas de velocidad periódica.

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

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

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

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

Donde:

t_p tiempo de trabajo;

t_o tiempo de pausa;

t_c tiempo de ciclo.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.5.2 Dispositivos elementales en accionamientos de motores.

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

suele ser más que suficiente para períodos más largos de sobreintensidades operativas (de valor más bajo), como en el caso del arranque de motores. También debe superar pruebas estandarizadas de resistencia mecánica, de sobretensión y de corriente de fuga. El esquema eléctrico de este dispositivo se puede apreciar en la figura siguiente.

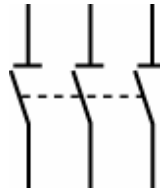


Figura. 1.4 Seccionador

Mientras tanto el interruptor de control se suele accionar manualmente (aunque a veces dispone de disparo eléctrico para mayor comodidad del usuario) y es un dispositivo no automático de dos posiciones (abierto/cerrado), tal como se muestra en el esquema de la figura 1.5.

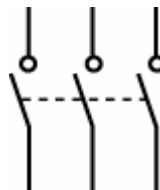


Figura. 1.5 Interruptor bajo carga

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

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

La norma IEC 60947-3 define:

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

Cuando se elige un interruptor para energizar un circuito siempre existe la posibilidad de que se produzca un cortocircuito (insospechado) en el circuito. Por este motivo se asigna a los interruptores bajo carga un índice de conexión de corriente de defecto, es decir, se asegura el cierre correcto frente a las fuerzas electrodinámicas de la corriente de cortocircuito.

Tales interruptores se denominan habitualmente interruptores “bajo carga con capacidad de cierre”. Los dispositivos de protección situados aguas arriba son los encargados de eliminar el defecto de cortocircuito.

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

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

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

Las categorías de utilización mencionadas en la tabla 1.5 no son aplicables a los equipos utilizados normalmente para arrancar, acelerar y/o para motores individuales.

El interruptor biestable se utiliza extensamente para el control de circuitos de iluminación, en los que al presionar un pulsador (en una posición de control remota), se

abre un interruptor ya cerrado o se cierra un interruptor abierto en una secuencia biestable. En la figura 1.5 se muestra este dispositivo.

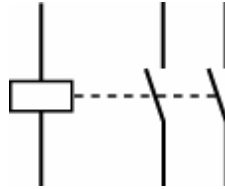


Figura. 1.5 Telerruptor (interruptor biestable).

Las aplicaciones típicas son:

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

Hay disponibles dispositivos auxiliares que proporcionan:

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

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

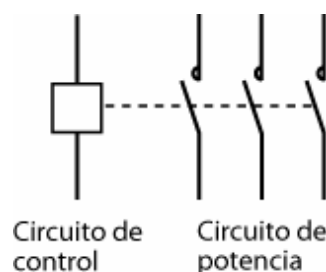


Figura. 1.6 Contactor magnético.

Los contactores están diseñados para realizar numerosos ciclos de apertura/cierre y se suelen controlar de forma remota por medio de pulsadores de activación/desactivación, como se muestra en la figura 1.6.

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

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

En la tabla 1.6 se pueden apreciar los requisitos de resistencia a las corrientes de sobrecarga.

Tabla 1.6 Capacidad mínima de contactores para soportar corrientes de sobrecarga.

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

Arrancador (contactor + relé térmico)

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

Relés térmicos.

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

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

1.6 Normas de selección de protecciones para baja tensión.

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

Las funciones principales de los dispositivos de protección son:

- Protección eléctrica.
- Conmutación local o remota.

Estas funciones se resumen a continuación.

Protección eléctrica contra:

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

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

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

Protección eléctrica

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

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

Se hace una distinción entre protección de:

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

La protección de circuitos:

- Contra sobrecargas: una situación en la que se limita una corriente excesiva de una instalación en buen estado (sin defectos).

- Contra corrientes de cortocircuitos causadas por el defecto completo del aislamiento entre los conductores de diferentes fases o (en los sistemas TN) una fase y un conductor neutro (o PE).

En estos casos la protección la proporcionan fusibles o interruptores automáticos en el cuadro de distribución en el que se origina el circuito final (es decir, el circuito al que está conectada la carga). En la tabla 1.7 se muestran los rangos de operación de fusibles para baja tensión tipo gG y gM.

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

<u>Corriente nominal (1)</u>	<u>Corriente infusible</u>	<u>Corriente fusible</u>	<u>Tiempo máximo</u>
I_n (A).	<u>convencional</u>	<u>convencional</u>	<u>convencional</u>
	I_{nf}.	I_f ó I_2	(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

La protección de personas:

- Contra defectos de aislamiento. Según el esquema de puesta a tierra de la instalación.

La protección la proporcionan fusibles o interruptores automáticos, dispositivos de corriente residual y/o una supervisión permanente de la resistencia de aislamiento de la instalación a tierra.

La protección de motores eléctricos:

- Contra sobrecalentamiento, causado, por ejemplo, por una sobrecarga a largo plazo, un rotor bloqueado, operación monofásica, se utilizan relés térmicos, diseñados especialmente para adaptarse a las características concretas de los motores. Si es necesario, estos relés también pueden proteger el cable del circuito del motor contra sobrecargas. La protección contra cortocircuitos la proporcionan fusibles aM o un interruptor automático del que se ha retirado el elemento protector térmico (sobrecarga), o en el que se ha desactivado este elemento. También puede darse protección contra el sobrecalentamiento mediante el uso de relés termométricos de termo resistencias.

1.6.1 Selección de interruptores automáticos.

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

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

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

Primero:

- ❖ La corriente máxima instantánea que el interruptor debe soportar.

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

Segundo:

- ❖ La corriente total cuando los contactos del interruptor inician la apertura para interrumpir el circuito.

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

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

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

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

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

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

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

3- Se determina la solución económicamente útil de las variantes propuestas, admisibles para las condiciones concretas dadas por las fórmulas (Feodorov 1987):

$$\Delta P'_T = a + b \cdot S_c^2, S_{cA} = \sqrt{(a_2 - a_1)/(b_1 - b_2)}, \Delta P_r = a_{n+1} + (b_{\Sigma+1} - b_{\Sigma}) \cdot S_c^2 \quad (1.9)$$

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

1.7.1 Selección de la potencia de los transformadores.

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

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

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

Sobrecargas de emergencia.

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

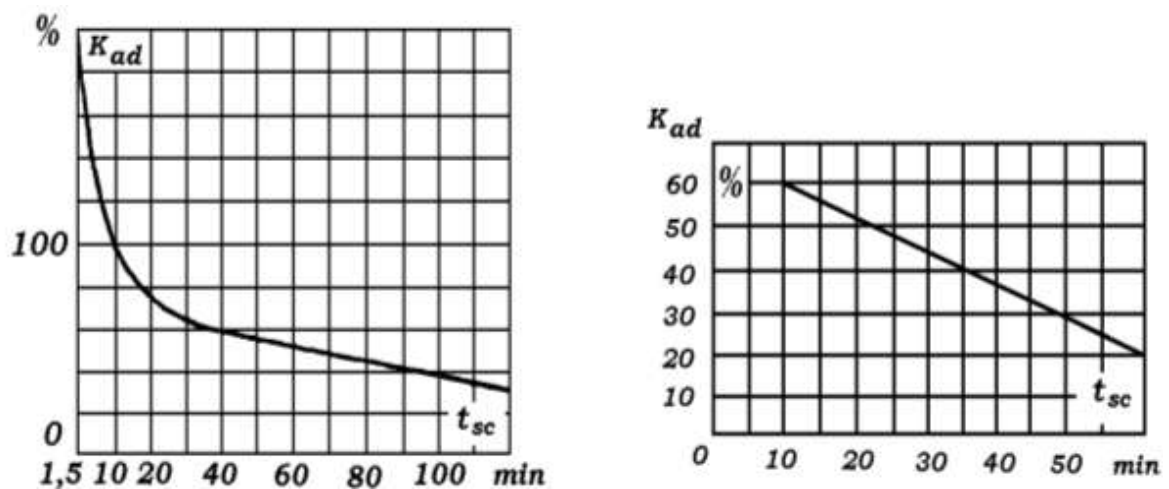


Figura. 1.7 Curvas para la determinación de la sobrecarga de emergencia admisible, en dependencia de ésta: a) transformador con enfriamiento oleaginoso; b) transformador seco.

Sobrecarga sistemática.

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

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

Teniendo la magnitud de la duración de la máxima carga T_{dm} , por la curva de la figura 1.8a, se puede determinar la sobrecarga permisible, la cual puede soportar el

transformador cada día durante las horas de su máxima carga. Los transformadores secos pueden ser sobrecargados según las curvas de la figura 1.8b. La sobrecarga admisible de un transformador puede ser determinada mediante la fórmula:

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

Donde:

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

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

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

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

1.7.2 Selección de trabajo económico de los transformadores.

En las condiciones de operación se debe prever el régimen de trabajo económico de los transformadores, la esencia del cual estriba en que, en subestaciones con varios transformadores, el número de transformadores conectados en cada momento debe ser el que proporcione el mínimo de pérdidas, para un gráfico de carga determinado. Para ello deben ser consideradas no solamente las pérdidas de potencia activa en los propios transformadores, sino también las pérdidas de potencia activa que aparecen en el sistema, (desde los generadores hasta la subestación considerada) debido a los requerimientos de potencia reactiva de los transformadores. A diferencia de las pérdidas del propio transformador, a éstas se les denomina referidas y se le determinan por la expresión:

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

Donde:

$\Delta P'_{sc} = \Delta P_{sc} + K_{jp} \cdot \Delta Q_{sc}$ = pérdidas referidas del transformador sin carga, las cuales toman en cuenta las pérdidas de potencia activa tanto del transformador como las creadas por los elementos del sistema por la potencia reactiva demandada por el mencionado transformador, kW;

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

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

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

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

$K_c = S_c / S_n$ coeficiente de carga;

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

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

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

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

I_{sc} = corriente del transformador sin carga;

V_{cc} = Voltaje de cortocircuito del transformador.

1.8 Método de cálculo para las pérdidas por transformación.

Las pérdidas totales se calculan empleando la siguiente ecuación:

$$Pt = pfe \cdot T_3 + (kVA_{real} / kVA_n)^2 \cdot pcu \cdot T_1 \quad (1.12)$$

Pt = pérdidas totales que se producen en el transformador.

pfe = pérdidas de hierro.

T_3 = tiempo en horas en que está energizado el transformador (720 horas/mes)

Pcu = pérdidas de cobre

T_1 = Tiempo de trabajo: Ejemplo: un turno (200 hrs / mes), dos turnos (400 hrs / mes), tres turnos (720 hrs / mes)

$$kVA_{real} = \frac{\text{Consumo del mes (kWh)}}{T_1 \cdot \text{Factor de potencia}}$$

$kVA_n = kVA$ nominales del banco de transformadores.

1.9 Conclusiones del capítulo.

- El análisis bibliográfico y de la situación actual demostró la existencia de varios estudios relacionados con diagnósticos y análisis de sistemas eléctricos, en varias instalaciones de Cuba, sin embargo, arrojó la existencia de pocas investigaciones relacionadas con el diagnóstico en el sistema eléctrico del establecimiento Lácteo Baracoa.
- Se recogen los fundamentos teóricos necesarios que sirven de base a los posteriores capítulos, asociados a la selección de conductores y demás dispositivos de las redes de distribución a baja tensión, así como la teoría general de máquinas eléctricas y de dispositivos presentes en accionamientos con este tipo de motores.

Capítulo 2. Sistema eléctrico de la Instalación.

2.1 Introducción.

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

2.2 Caracterización de la instalación objeto de estudio

El establecimiento lácteo Baracoa se encuentra localizado dentro del casco histórico de la ciudad en la calle Martí # 300 entre Abel Díaz y Moncada, el mismo posee actualmente una plantilla de 84 trabajadores de los cuales 62 son obreros vinculados directamente a la producción. El establecimiento lácteo Baracoa desde su inicio dirige su trabajo a la producción de productos lácteos para satisfacer la demanda del municipio y de los municipios adyacentes como Maisí, Imías y San Antonio. Este establecimiento tiene como objeto social realizar la compra y venta de leche fresca y comercializar de forma mayorista en su territorio de producción, producir y distribuir leche fluida, leche en polvo, yogurt, helado, queso, mezcla física alimenticia en polvo y soya en moneda nacional y en divisa. Sus procesos productivos están caracterizados de la siguiente manera, la línea de producción de helado inicia su proceso a las 04: 00 AM hasta las 12: 00PM es decir un turno de trabajo. Junto con esta línea comienzan también las líneas de yogurt y soyurt. De todos los portadores energéticos del establecimiento en la energía eléctrica es donde se consume más del 80%.

2.3 Sistema de Suministro Eléctrico.

El establecimiento lácteo el sistema de suministro eléctrico está constituido por una red trifásica que alimenta con 13.2 kV al banco de transformadores hasta adecuar la tensión de trabajo de los equipos de fuerza y alumbrado que están instalados. La energía eléctrica del banco de transformadores tiene las siguientes características:

- Potencia nominal del transformador de alumbrado:167 kVA
- Potencia nominal de los transformadores de fuerza :100 kVA
- frecuencia, 60 Hz;
- tensión nominal en el primario, 13.2 kV;
- tensión nominal del secundario,120, 240 V;
- tensión de fase del secundario, 240 V;
- corriente nominal del secundario, 884 A.

El esquema posee gran cantidad de equipos desconectivos (principalmente interruptores del tipo breaker y contactores magnéticos.), Dicho esquema es característico para consumidores de un proceso continuo de trabajo. La energía eléctrica que suministran los transformadores llega hasta el panel principal donde está el transfer que domina toda la carga conectada. Luego pasa al panel general de distribución que alimenta la barra principal. A partir de la barra, se conectan los interruptores (breaker y contactores) que alimentan los demás paneles de distribución y equipos de fuerza y alumbrado principales para las diferentes líneas de producción. De los diferentes paneles de distribución solo uno lleva el total de cargas conectadas que representan el total de los consumidores.

2.3.1 Estado de los principales paneles eléctricos. Principales problemas.

A continuación se describe el estado actual de los principales paneles con que cuenta el esquema eléctrico del centro.

Panel general del esquema eléctrico del establecimiento.

El panel general está ubicado en el área del grupo electrógeno, posee breaker general y luego de este una cuchilla de doble tiro (transfer), este último es para transferir la

carga instalada a la red o al grupo electrógeno. En la figura 2.1 se muestra un esquema de este panel.

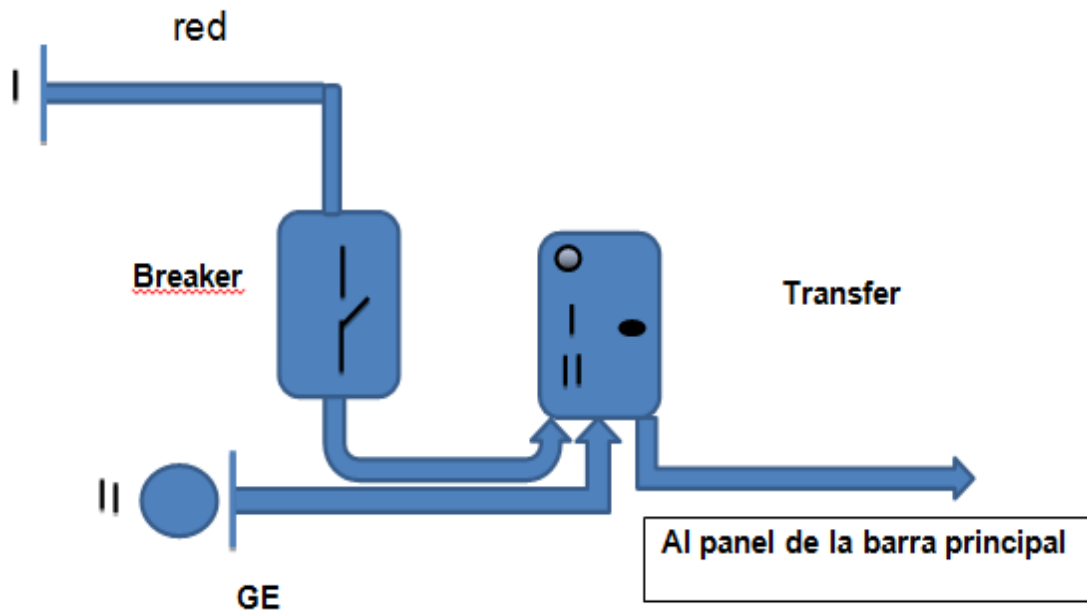


Figura. 2.1. Panel general del establecimiento.

El estado del panel general es bueno, pero no está acorde con los requerimientos técnicos actuales ya que el mismo por ser una cuchilla de doble tiro hay que realizar las operaciones manuales y por el tipo de actividad de la entidad lo requiere automático. El panel general presenta las siguientes deficiencias:

1. Las líneas que viajan desde este panel hasta el panel de distribución pasan por dentro de la producción donde existe mucha humedad y el aislamiento de estos conductores no es el apropiado para la humedad.
2. No tiene instrumentos de mediciones (como voltímetros, amperímetros y vatímetros).
3. Existen conductores con deterioro en el aislamiento.
4. Panel de la barra principal de distribución:

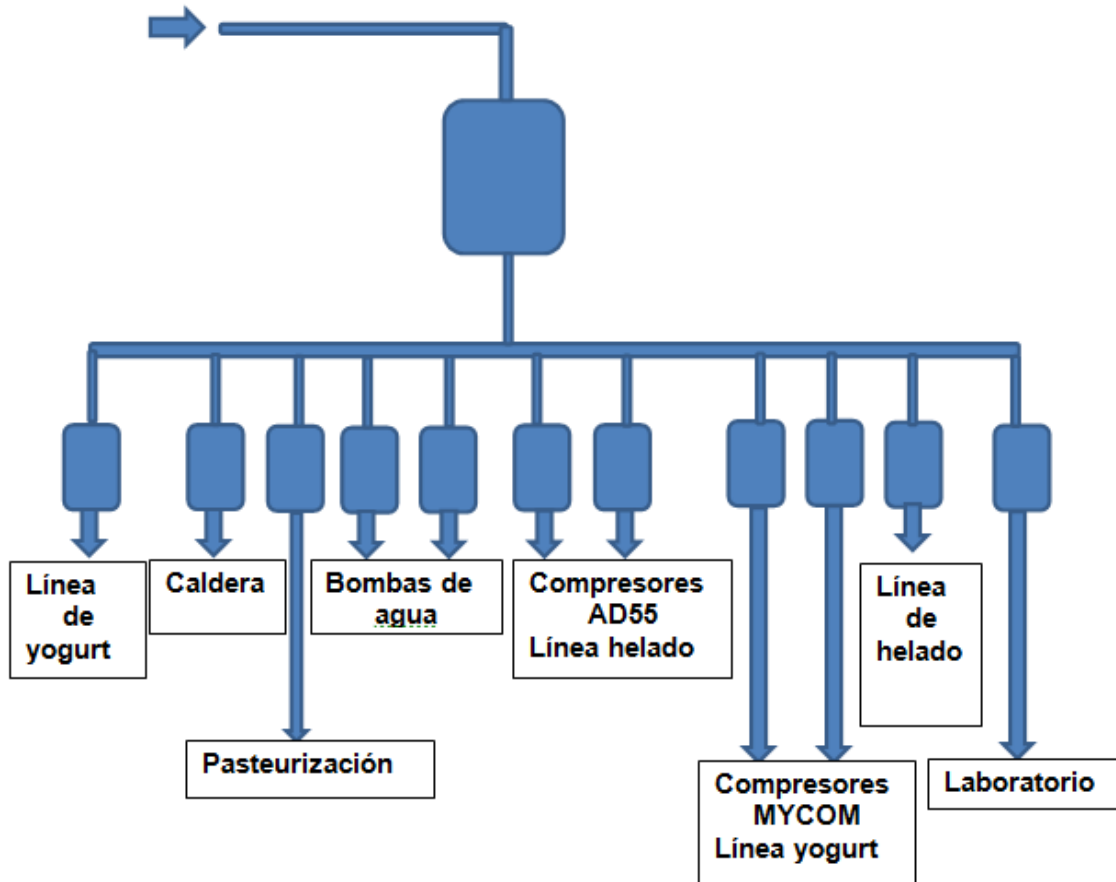


Figura. 2.2. Panel de la barra principal.

El panel de la figura 2.2 es alimentado por el panel general mostrado en la figura 2.1, donde está el doble tiro y tiene la función de distribuir la energía a través de la barra principal a los demás paneles auxiliares y a los equipos de fuerza de mayor consumo y está ubicado dentro del local de los compresores AD 55 (rusos), y 7 interruptores breaker para los demás motores de gran consumo que intervienen en la producción

2.4 Estado de los dispositivos de protección.

Los equipos de protección que intervienen en los parámetros de presión y temperatura en el proceso tecnológico están desconectados por encontrarse averiados, muchos son los mismos que se conectaron cuando inicio la fábrica.

Los valores nominales oscilan entre los 100 y 300 amperes.

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

2.5 Levantamiento de cargas instaladas.

El fundamento de la solución racional de los problemas técnicos-económicos en el estudio del esquema eléctrico del establecimiento lácteo, se encuentra en las cargas instaladas.

En el centro se realizó el levantamiento de todas las cargas instaladas (como se muestra en la figura 2.3).

Se puede observar que la potencia instalada en la entidad se caracteriza por el predominio de motores eléctricos y equipos de refrigeración.

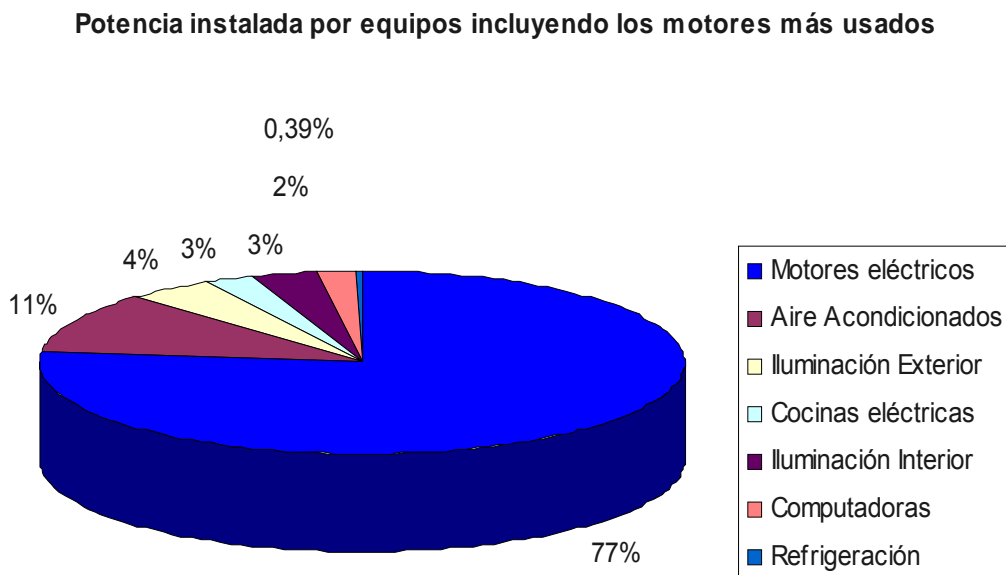


Figura. 2.3 Distribución de carga de la instalación.

En la tabla 2.1 se representan individualmente los principales consumidores de segunda categoría del establecimiento que intervienen en la producción.

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

cant	Equipos de 2da categoría	kW
1	Máquina coco glasé	0.2
2	Máquina de soldar	12
3	Máquina Envasadora Soyurt	1.5
4	Resistencia Máquina Envasadora	0.9
5	Split	1.5
6	Extractor de Aire # 1	0.75
7	Extractor de Aire # 2	0.75
8	Extractor de Aire # 3	0.75
9	Válvula Motorizada	0.2
10	Autoclave	3
11	Horno Laboratorio	6.2
12	Alumbrado General	1.12
13	Compresor de Aire Exterior	3
14	Hornilla Laboratorio	1.5
15	Incubadora # 1	0.4
16	Incubadora # 2	0.4
17	Incubadora # 3	0.4
18	Baño María	0.4
19	Destiladora	3
20	Aire Acondicionado Laboratorio	1
21	Refrigerador doméstico Laboratorio	0.12
	CARGA TOTAL INSTALADA	39.09

2.6 Principales magnitudes eléctricas de la instalación.

Se realizaron diferentes mediciones en los paneles principales del centro (panel de la barra principal, el de la caldera y de la línea de helado y yogurt.), los cuales son los más representativos. A partir de estas mediciones se permite obtener un comportamiento real de los parámetros eléctricos, necesarios para cumplimentar el desarrollo de éste trabajo.

2.6.1 Comportamiento de las variables eléctricas en el panel de la barra principal.

Se realizaron tres mediciones eléctricas durante la producción, estas mediciones abarcaron períodos de siete turnos de trabajo que equivalen a siete días. En este trabajo se presentan las magnitudes de las mediciones en la producción de helado,

soyurt y yogurt por ser la más representativa. Las mediciones necesariamente se realizaron en el interruptor tipo breaker del panel principal de distribución.

Mediciones realizadas en el panel de la barra principal de distribución

A continuación se muestran los resultados de la medición de las principales variables eléctricas registradas por el instrumento de medición, las cuales se concretan en, Tensiones en cada una de las fases, Corrientes por cada una de las fases, Potencia Aparente total S (kVA.), Potencia Activa P(kW).

En la figura 2.4 se observa el comportamiento de las potencias activa y aparente en el panel de la barra principal.

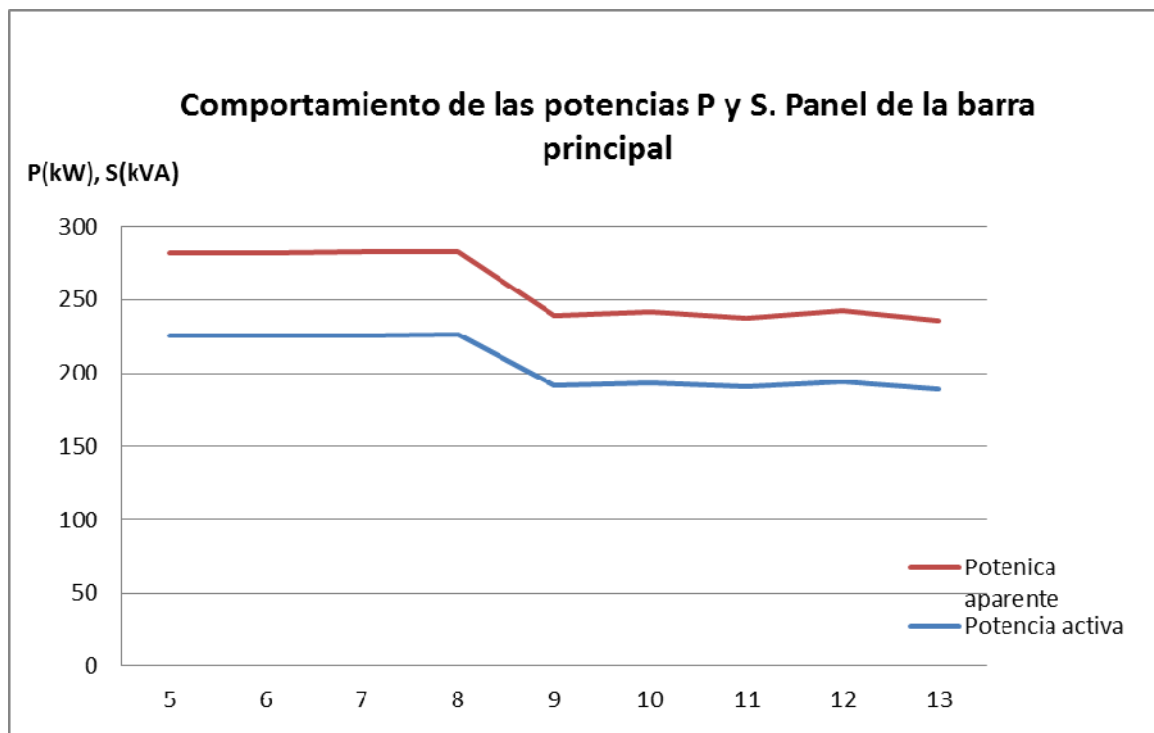


Figura. 2.5 Comportamiento de las potencias en el panel de la barra principal de distribución.

En la figura 2.6 y 2.7 respectivamente se representan las gráficas de las tensiones y corrientes por fases.

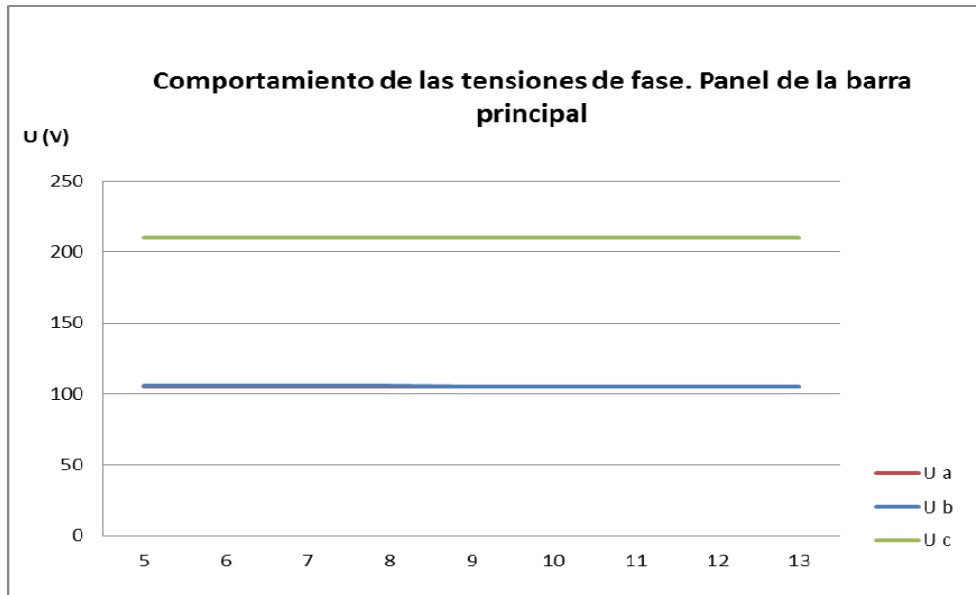


Figura. 2.6 Comportamiento de las tensiones de fase en el panel principal de distribución.

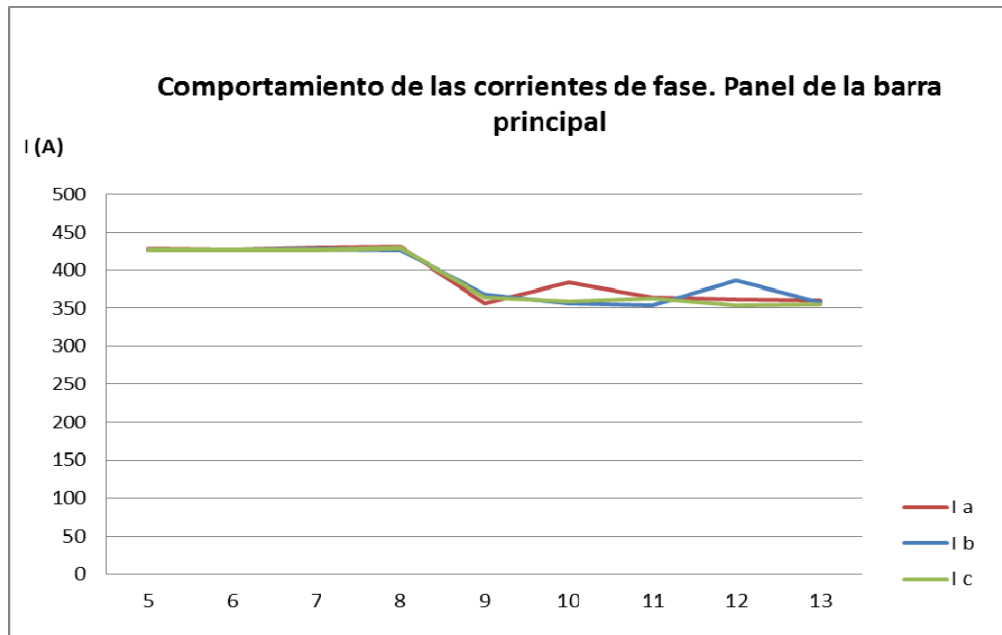


Figura 2.7 Comportamiento de las corrientes por fase en el panel principal de distribución.

En la figura 2.8 se muestra el comportamiento de las corrientes de fase del panel de la línea de helado, las tensiones de este panel corresponden a la misma representación de la figura 2.6.

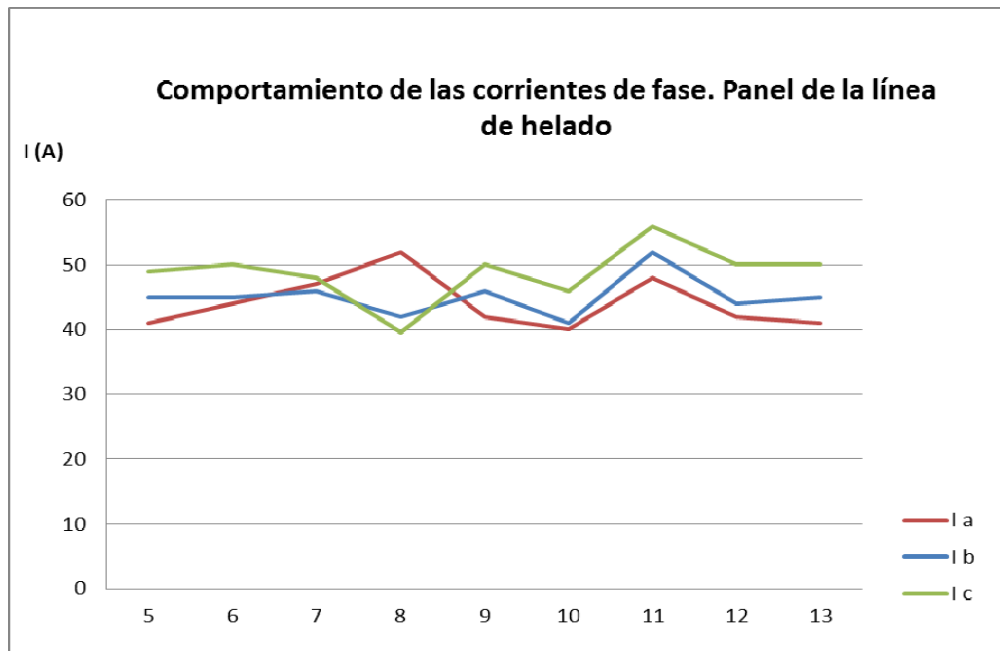


Figura 2.8 Comportamiento de las corrientes por fase en el panel de la línea de helado.

Resumen del análisis de las mediciones.

- En el período entre las 05:00 hasta las 08:00 se puede observar que la potencia activa y aparente están en los 226.34 kW y 282.92 kVA respectivamente ya que en ese horario se encuentran la mayoría de los motores conectados en función de los procesos de producción. Luego en el horario de 08:00 a 09:00 desciende el consumo a 239.36 kW para una potencia aparente de 191.49 kVA manteniéndose oscilando hasta los 188.67 kW y 235.84 kVA hasta las 13:00 horas del día. Luego el consumo continúa descendiendo hasta que la producción concluye a las 14:00 horas quedándose los compresores MAYCOM, AD55 y otros equipos de refrigeración para mantener la temperatura del yogurt y el helado en las neveras.
- Los valores medios de las variables eléctricas durante la producción se comportaron de la siguiente manera: Tensión 220 V; Corriente 384 A; Potencia Aparente 242.44 kVA; Potencia Activa 222.952 kW; Factor de Potencia de 0.79 hasta 0.8 y frecuencia de la red de 59.7 a 60.1 Hz.
- El tiempo de medición eléctrica fue de 3 meses.
- En el período de la medición se consumieron como promedio 392 kWh.

2.7 Selección de conductores.

Para la selección de los conductores se parte de la determinación de la demanda máxima por ramales y en el nodo principal, considerando el coeficiente de utilización, tal como se puede apreciar en la figura 2.9.

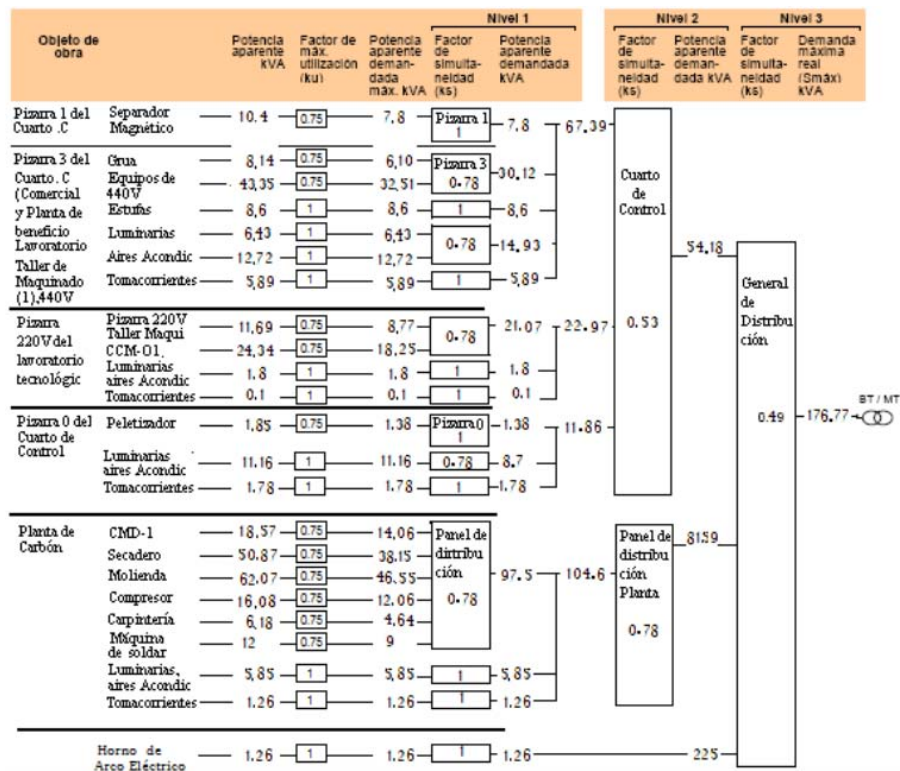


Figura 2.9 Potencia por nodos.

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

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

Ramal 1. Panel principal.

$$\begin{aligned} S_{m\acute{a}x} &= S \times K_s = (282.04) \times 0.53 \\ &= 149.48 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} = 392.75 \text{ A}$$

Ramal 2. Línea de Helado.

$$S_{m\acute{a}x} = S \times K_s = (22.26) \times 0.78 \\ = 17.36 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} = 45.61 \text{ A}$$

Ramal 3. Línea de soyrut.

$$S_{m\acute{a}x} = S \times K_s = (26.16) \times 0.49 \\ = 12.81 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} = 33.66 \text{ A}$$

Ramal 4. panel de la caldera.

$$S_{m\acute{a}x} = S \times K_s = (4.9) \times 0.49 \\ = 2.4 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S_{m\acute{a}x} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} = 6.3 \text{ A}$$

2.8 Actualización del monolineal y esquemas de paneles eléctricos principales.

Una de las vías para facilitar el trabajo de mantenimiento y adecuación de redes es mediante el uso de esquemas monolineales que detallen el sistema de suministro de las instalaciones (ver anexo 1), además existen regulaciones que exigen el uso del mismo (Metodología para las Auditorías de mantenimiento industrial y la eficiencia energética, según Resolución No. 60-2008), que estén actualizados y con todos los datos técnicos necesarios (voltajes nominales en todos los niveles de voltajes del sistema, calibres de los alimentadores, niveles de cortocircuito en la (s) PGD y en las

pizarras de fuerza y centro de control de motores, capacidades nominales e interruptivas de los disyuntores, datos nominales de los transformadores de fuerza y alumbrado y datos nominales de las cargas); para así cumplir con los objetivos fundamentales de la calidad y profundidad de los principales aspectos técnicos.

Inicialmente en la entidad no se contaba con el mismo, lo que dificultaba el trabajo y aumentaba el tiempo para localizar las fallas.

2.9 Facturas de electricidad y demanda contratada.

En la tabla 2.2 se muestra la demanda contratada por la entidad y la demanda real registrada.

Tabla 2.2 Facturas de electricidad del primer semestre de 2013.

Establecimiento Lácteo Baracoa 2012	Pérdidas por transf. (kW)	Demanda contratada (MW) al mes	Demanda registrada (MW) en el mes	Bonificación
dic-12	976	3.12	4.239	0
ene-13	1093	3.12	3.920	0
feb-13	873	3.12	4.345	0
mar-13	907	3.12	3.491	350,43
abr-13	903	3.12	4.175	408,37
may-13	919	3.12	3.840	390,47

2.10 Conclusiones del capítulo.

En el capítulo se deja plasmado el levantamiento de la potencia instalada de la entidad, así como las deficiencias detectadas en los nodos y paneles de distribución. Se realizan las curvas que dan pie al análisis del comportamiento de las variables eléctricas. Además se analiza la facturación de la energía eléctrica.

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

3.1 Introducción.

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

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

3.2.1 Conclusiones de las mediciones.

- 1. Se observó sobrecalentamiento de toda la red eléctrica del área de producción debido a las pérdidas por efecto de Joule que se producen por una alta circulación de potencia reactiva hacia la carga y empalmes mal realizados.*
- 2. Para compensar el factor de potencia de la instalación es necesario realizar un reacomodo de carga y evaluar el estado actual de los motores con respecto a la relación carga-potencia.*
- 3. Como consecuencia del consumo de potencia reactiva actual se incrementan las pérdidas por transformación, esto además influye en que la potencia disponible en el banco de transformador de entrada disminuya su capacidad de potencia.*
- 4. Existen picos de corriente que responden a los procesos productivos.*
- 5. Las tensiones monofásicas U_a y U_b posibilitan la conexión de cargas de 127 V, no así la tensión U_c por tener valores de 203 V hasta 215 V.*
- 6. Se aprecia que el consumo es mayor que en el horario de 7:00 am a 12:00 am, lo que responde al no cumplimiento en su totalidad de las medidas de ahorro por parte del personal*

3.3 Selección de conductores.

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

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

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

Leyenda:

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

Ramal 1. Panel de la barra principal.

Tabla 3.2 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	392.75
Sección (mm ²)	126.64
Calibre de conductor de cobre	250

Ramal 2. Línea de helado.

Tabla 3.3 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	45.61
Sección (mm ²)	5.26
Calibre de conductor de cobre	10

Ramal 3. Línea de soyurt.

Tabla 3.4 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	33.66
Sección (mm ²)	3.31
Calibre de conductor de cobre	12

Ramal 4. Panel de la caldera.

Tabla 3.5 Calibre del conductor.

Corriente nominal (A)	6.3
Sección (mm ²)	2.09
Calibre de conductor de cobre	14

3.4 Selección de dispositivos de protección.

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

$$I_n = (1.5 \text{ a } 2) \times I_{op}$$

Ramal 1. Panel de la barra principal.

$$I_n = 1.5 \times 392.75 = 589.125 \text{ A}$$

Ramal 2. Línea de helado.

$$I_n = 1.5 \times 45.61 = 68.415 \text{ A}$$

Ramal 3. Línea de soyurt .

$$I_n = 1.5 \times 33.66 = 50.49 \text{ A}$$

Ramal 4. Panel de la caldera

$$I_n = 1.5 \times 6.3 = 9.45 \text{ A}$$

3.5 Medidas de mejora de la eficiencia en la instalación.

1. Aprovechamiento máximo de la luz solar para el alumbrado del establecimiento lácteo y de otros locales apropiados para ello.
2. Utilizar los aires acondicionados a partir de las 9:00 AM y desconectarlos en el horario de almuerzo comprendido de 11:30 AM a 12:30 PM.
3. Desconectar equipos eléctricos y luces de las oficinas en caso de alguna gestión, reunión u otra actividad fuera o dentro del centro.
4. Controlar, chequear y analizar los índices de consumo de portadores energéticos fundamentalmente el de electricidad en el establecimiento.

5. Revisión de la demanda contratada con la UEB, para ajustes a la demanda real de la instalación.

3.6 Valoración económica del trabajo.

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

3.7 Conclusiones del capítulo.

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

Conclusiones.

Con la realización de este trabajo.

1. Se identificaron las insuficiencias existentes en el sistema eléctrico de la entidad objeto de estudio.
2. Se realizó el levantamiento de cargas para determinar la potencia instalada.
3. Se actualizaron el monolineal y los planos eléctricos.
4. Del análisis de las variables eléctricas se obtiene que los mayores consumidores son los 4 compresores pertenecientes a las líneas de helado y yogurt.
5. Se determinó la relación entre la demanda energética de la entidad y la capacidad instalada en el transformador de alimentación, corroborando la gran diferencia que conlleva a la contratación de una nueva demanda o al cambio del transformador.
6. Se propone un plan de medidas para la disminución del consumo del portador energético electricidad.

Recomendaciones.

- Aplicar la investigación en el Establecimiento Lácteo Baracoa.
- Profundizar en el estudio de los demás portadores energéticos de la empresa.

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. CEEMA. Gestión Energética Empresarial. Cienfuegos, 2004.
6. FEODOROV, A. A. Suministro Eléctrico de Empresas Industriales. 2 ed. La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 1987.
7. GARCÉS GALLARDO, KARELL LEXANDER. Sistema para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo " El Vaquerito " de Moa. Trabajo de diploma. ISMM, 2009.
8. GENERAL ELECTRIC. Capacitors, Arresters and Harmonic Filters. 2004.
9. HERNÁNDEZ BATISTA, O. E. Gestión Energética en el Hotel Miraflores. Trabajo de Diploma. ISMM, 2008.
10. IVANOV SMOLENSKI, A. V. Máquinas Eléctricas. Tomo II. Editorial Mir. Moscú, 1980.
11. KOSTENKO, M. y PIOTROVSKY, L. Máquinas Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982. 522 p.
12. MÉNDEZ RODRÍGUEZ, O. Sistema Automatizado para la Gestión Energética en el ISMM de Moa. Secundino Marrero Ramírez. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2008.
13. MERLÍN GERÍN. Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos 2003.

14. M.I.T, Circuitos magnéticos y Transformadores. Reverté. Buenos Aires, 1981.
Disponible en: < <http://transformadortrifásico.mth> >
15. MORERA HERNÁNDEZ, MARIO: Accionamiento eléctrico automatizado, parte I. Editorial Félix Varela. La Habana, 2004.
16. PINO MORALES, J. Aplicación de herramientas de la Gestión Energética en la Batería de Grupos Electrógenos Diesel de Moa 2008. Moa, 2008.
17. PONCE DE LEÓN ZALDÍVAR, A.; S. MARRERO RAMÍREZ. Estudio de los portadores energéticos en el ISMM de Moa. Trabajo de Diploma. ISMM, 2002.
18. REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO CUBANO. Edición 1.0, 2008.
19. RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, OSMEL. Diagnóstico del sistema eléctrico en el Centro de Investigación Siderúrgica de Nicaro. Trabajo de diploma. Moa, 2010.
20. 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.
21. SARIOL SOSA, S. ¿Electricidad sobrante?. Periódico Granma, 30 de mayo 2009 (127): 3.
22. UNIÓN ELÉCTRICA. Manual de Consumidores: Tarifas Eléctricas y su Aplicación. La Habana, 2007.
23. Uso Eficiente de la Energía Eléctrica. (en línea). Perú: Procobre. Disponible en: <http://www.procobreperu.org>
24. VOLDEK, A. I. Máquinas Eléctricas. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad Habana, tomado de la edición en español de V/D Vnestovgizdat Moscú 1983. 422 p.
25. VIANT GARRIDO, E; R. MORA H. Gestión de Información sobre Soluciones Energéticas. CUBAENERGIA: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo.
26. VIEGO FELIPE, V; et. al. Maestría Eficiencia Energética: Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, 2007.

Anexos. –

Anexo 1. Esquema monolineal del sistema eléctrico del establecimiento Lácteo de Baracoa.

