



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad Metalurgia-Electromecánica

Trabajo de Diploma
En opción al Título
de
Ingeniero Eléctrico

Título: Estructura y comportamiento actual del sistema de distribución eléctrico en el área docente del ISMM.

Autor: Danny Pacheco Marte.

Tutores: Dr.C. Reynaldo Laborde Brown.

Ing. Yordan Guerrero Rojas

Moa 2008

Declaración de Autoridad

Yo: Danny Pacheco Marte

Autor de este Trabajo de Diploma junto con el Dr.C. Reynaldo Laborde Brown e Ing. Yordan Guerrero Rojas certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Danny Pacheco Marte
(Diplomante)

Dr.C. Reynaldo Laborde Brown
(Tutor)

Ing. Yordan Guerrero Rojas
(Tutor)

Pensamiento

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

Albert Einstein

Dedicatoria

Dedico este Trabajo de Diploma en especial a mi madre María Caridad Marte Hernández y mi padre Guillermo Félix Pacheco González, a mi abuela que ya no se encuentra entre nosotros Isidora Carón Sagarra, a mis hermanos Denoy y Darby, y a toda mi familia.

Danny Pacheco Marte

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar y con todo mi corazón a mis padres María Caridad y Guillermo Pacheco por el sacrificio y confianza depositada en mí para que pudiese llegar a lo que soy hoy, a mis hermanos Denoy y Darby por el apoyo brindado, a mi novia Kirenia por la paciencia, amor y dedicación que me ofreció durante tanto tiempo, a los amigos que contribuyeron a que este sueño fuese realidad, a mi familia y a todos aquellos que dejaron de existir y que llevo presente en cada paso de mi vida.

Agradezco a todos los compañeros de aula, por toda la ayuda que me brindaron.

Agradezco a todos los profesores y de manera especial a mis tutores Dr.C. Reynaldo Laborde Brown e Ing. Yordan Guerrero Rojas por sus conocimientos brindados para garantizar el éxito de este trabajo.

Agradezco a Dios por haberme permitido nacer en esta Revolución Socialista y a nuestro eterno Comandante en jefe Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de forjarme como persona culta y preparada en la especialidad de Ingeniería Eléctrica.

Muchas Gracias a todos.

Resumen

En este trabajo se hace un estudio de la estructura y comportamiento actual del sistema de distribución eléctrico en el área docente del ISMM, y se encuentra estructurado por tres capítulos, los cuales se desarrollan de la siguiente forma:

Capítulo 1 (Marco teórico), se realiza una descripción detallada de todas las temáticas a desarrollar en la investigación, referente a la fundamentación teórica de los transformadores monofásicos en bancos trifásicos, conexiones, aplicaciones además de las ventajas y desventajas de cada conexión. Se hace referencia al breaker como dispositivo de protección contra corrientes de cortocircuito y se precisa en el tema relacionado con el cálculo de conductores, así como la selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento, caída de voltaje y a la estabilidad térmica al paso de la corriente de cortocircuito.

Capítulo 2 (Materiales y Métodos), se describe detalladamente la metodología utilizada para la realización de la investigación. Se exponen los equipos y métodos empleados, así como la caracterización actual en que se encuentran los objetos de estudio en el área docente como lo son, banco de transformadores, paneles eléctricos, planos y circuitos eléctricos.

Capítulo 3 (Análisis de los resultados), se evaluaron el comportamiento de las potencias y del consumo de energía eléctrica de cada edificio y en general, permitiéndonos establecer el balance de potencia para cada área del bloque docente del ISMM. Se determinó la potencia instalada en el área docente. Fue analizado el comportamiento de las corrientes y tensiones en cada edificio y en general correspondiente al bloque docente. Se determinó el esquema monolineal del sistema correspondiente al área docente. Definimos la propuesta de medida para mejorar el servicio del banco de transformadores del área docente. Se plantean unas series de medidas en vista de garantizar una explotación más racional del sistema eléctrico del área docente, con el ahorro energético. Se define la valoración económica de la propuesta de cambiar todas las cuchillas del panel general del área docente y de los paneles principales de cada edificio, por dispositivos de protección automáticos (breakers).

Summary

In this work it is made a study of the structure and current behavior of the electric distribution system in the educational area of the ISMM, and it is structured by three chapters, which are developed in the following way:

Chapter 1 (theoretical aspects), it is carried out a detailed description of all the thematic ones to develop in the investigation, with respect to the theoretical foundation of the transformers single phase in three phase banks, connections, applications besides the advantages and disadvantages of each connection. Reference is made to the breaker like protection device against short circuit currents and it is necessary in the topic related with the calculation of drivers, as well as the selection of the driver's caliber assisting to the heating conditions, voltage fall and to the thermal stability to the step of the short circuit current.

Chapter 2 (Materials and Methods), the methodology used for the realization of the investigation is described detailedly. The teams and used methods are exposed, as well as the current characterization in that, are the study objects in the educational area as they are it, bank of transformers, electric panels, planes and electric circuits.

Chapter 3 (Analysis of the results), they were evaluated the behavior of the powers and of the consumption of electric power of each building and in general, allowing us to establish the balance of power for each area of the educational block of the ISMM. The power was determined installed in the educational area. It was analyzed the behavior of the currents and tensions in each building and in general corresponding to the educational block. The outline monolineal of the system corresponding to the educational area was determined. We define the measure proposal to improve the service of the bank of transformers of the educational area. They think about some series of measures in view of guaranteeing a more rational exploitation of the electric system of the educational area, with the energy saving. It is defined the economic valuation of the proposal of changing all the kitchen knives of the general panel of the educational area and of the main panels of each building, for automatic protection devices (breakers).

Contenidos

	Pág.
Índice	
Introducción General.	1
Capítulo 1. Marco Teórico.	3
1.1 Análisis Bibliográfico.	3
1.2 Fundamentación teórica.	5
1.2.1 Aplicaciones de las conexiones de transformadores más utilizadas.	6
1.2.2 Análisis de las conexiones completas de transformadores monofásicos en bancos trifásicos.	9
1.2.3 Análisis de las conexiones incompletas de transformadores monofásicos en bancos trifásicos.	14
1.2.4 Conexión incompleta para servicio combinado (monofásico y trifásico).	17
1.2.5 Comparación de un transformador trifásico con un grupo de transformadores monofásicos.	18
1.2.6 Comparación entre los métodos de conexión delta-estrella y delta abierta.	19
1.3 Breaker dispositivo de protección.	20
1.4 Selección de conductores.	21
1.4.1 Selección del calibre del conductor.	22
1.4.2 Selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento.	22
1.4.3 Selección del calibre del conductor por caída de voltaje.	25
1.4.4 Selección del calibre del conductor por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito.	27
1.5 Conclusiones del Capítulo 1.	28
Capítulo 2. Materiales y Métodos.	29
2.1 Diseño de la investigación.	29
2.2 Generalidades del sistema de alimentación al área docente.	30
2.2.1 Conexión de los transformadores del banco docente.	31
2.2.2 Análisis de los principales paneles eléctricos del área docente.	31
2.3 Equipos y métodos.	33
2.3.1 Métodos de mediciones empleados.	34

2.3.2	Método de cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección del dispositivo de protección (breaker).	36
2.4	Análisis para la selección de conductores eléctricos.	37
2.5	Actualización de planos eléctricos.	38
2.5.1	Esquemas de los principales paneles eléctricos del edificio 1.	39
2.6	Conclusiones del Capítulo 2.	42
Capítulo 3. Análisis de los resultados.		43
3.1	Evaluación del comportamiento de las potencias y del consumo de energía eléctrica en el área docente.	43
3.1.1	Establecimiento del balance de potencias para el área docente.	58
3.2	Determinación de la potencia instalada en el área docente.	66
3.3	Análisis del comportamiento de las corrientes y tensiones en el sistema.	69
3.3.1	Análisis del comportamiento de las tensiones de líneas en el área docente.	73
3.4	Esquema monolineal del sistema.	74
3.5	Propuesta de medida para mejorar el servicio del banco docente.	75
3.5.1	Sustitución del transformador que ofrece servicio monofásico por otro de mayor capacidad.	75
3.6	Propuestas de medidas para garantizar una explotación más racional del sistema, con el ahorro energético.	77
3.7	Valoración Económica.	78
3.8	Conclusiones del Capítulo 3.	80
Conclusiones Generales.		81
Recomendaciones		83
Bibliografía		
Anexos		

Introducción General

En el mundo globalizado en que vivimos y dada la necesidad de obtener una máxima eficiencia de la energía eléctrica, la realización de un análisis del consumo de la energía eléctrica es de suprema importancia para cualquier país del mundo. Cuba como país sometido a un férreo bloqueo económico y comercial por parte de la mayor potencia del mundo, la utilización racional de la energía eléctrica requiere de métodos racionales que enfoquen la solución de los sobre consumos, el exceso de pérdidas y la explotación de las instalaciones desde el punto de vista técnico económico.

En el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, centro donde no existen consumidores de extremas condiciones de trabajo permite cargas diferentes, pero no sin importancia para el correcto funcionamiento del Instituto.

Un continuo incremento de estas cargas que demandan energía eléctrica para su operación en el Área Docente del ISMM, impone la necesidad de realizar un estudio integral que permita evaluar las posibilidades reales de solución a los principales problemas que son reportados desde esta área.

Problema

Insuficiente conocimiento sobre el comportamiento actual de las principales magnitudes eléctricas que caracterizan el comportamiento del sistema eléctrico de distribución en el área docente del ISMM.

Objetivo general

Determinar la estructura y el comportamiento actual de las principales magnitudes eléctricas que caracterizan el comportamiento del sistema eléctrico de distribución en el área docente del ISMM, a fin de proponer medidas para hacer más racional la explotación de dicho sistema.

Objetivos específicos

- 1- Realizar el levantamiento de la potencia instalada por área.
- 2- Actualizar los planos eléctricos de las áreas y el esquema monolineal del sistema.
- 3- Evaluar el comportamiento del consumo de energía, las corrientes, potencias y tensiones en el punto principal de suministro del área docente, para diferentes escalas de tiempo (horario, diario, mensual, anual).
- 4- Establecer el balance de potencias para el área docente.

5- Evaluar el régimen de trabajo del banco de transformadores.

Hipótesis

Un estudio detallado de las diferentes partes componentes del sistema eléctrico de distribución del área docente del ISMM; así como la realización de mediciones en determinados puntos del mismo puede revelar tanto la estructura actual del sistema como el comportamiento de las principales magnitudes eléctricas que lo caracterizan.

Tareas

- 1- Levantamiento de la potencia instalada por edificios y áreas.
- 2- Actualización de los planos eléctricos y del esquema monolineal del sistema de distribución del área docente.
- 3- Evaluación del comportamiento de las principales magnitudes eléctricas en el punto de suministro de energía al área docente, para diferentes escalas de tiempo.
- 4- Establecimiento del balance de potencia en el área docente.
- 5- Evaluación del régimen de trabajo del banco de transformadores.

Aportes de la investigación.

- 1- Planos eléctricos actualizados para el área docente.
- 2- Información sobre el estado actual de los paneles eléctricos y sus componentes en el área docente.
- 3- Información para el rotulado adecuado de los interruptores en los diferentes paneles.
- 4- Base para el proyecto de reanimación del sistema de distribución eléctrica del área docente.
- 5- Información sobre el comportamiento de la carga en el banco de transformadores.
- 6- Propuesta de medidas para garantizar una explotación más racional del sistema, con el ahorro energético.

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Análisis Bibliográfico.

1.2 Fundamentación teórica.

1.2.1 Aplicaciones de las conexiones de transformadores más utilizadas.

1.2.2 Análisis de las conexiones completas de transformadores monofásicos en bancos trifásicos.

1.2.3 Análisis de las conexiones incompletas de transformadores monofásicos en bancos trifásicos.

1.2.4 Conexión incompleta para servicio combinado (monofásico y trifásico).

1.2.5 Comparación de un transformador trifásico con un grupo de transformadores monofásicos.

1.2.6 Comparación entre los métodos de conexión delta-estrella y delta abierta.

1.3 Breaker dispositivo de protección.

1.4 Selección de conductores.

1.4.1 Selección del calibre del conductor.

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

1.4.3 Selección del calibre del conductor por caída de voltaje.

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

1.5 Conclusiones del Capítulo 1.

1.1 Análisis Bibliográfico.

Para la realización de este trabajo partimos desde el análisis de los resultados obtenidos de trabajos anteriores, con el objetivo de conocer cuanto se había avanzado en el tema así como tener una idea exacta de los logros alcanzados.

(11) En este trabajo se realizó un análisis para evaluar el sistema de gestión energética del ISMM y definir los indicadores de consumos de energía eléctrica y agua por actividad. En esta investigación se obtuvieron buenos resultados como es la determinación de las pérdidas anuales de energía para el banco de transformadores docente, propone cambios e instalaciones de protecciones en las pizarras, además de establecer el control de la carga instalada en función de la capacidad de los bancos de

transformadores. A pesar de los resultados obtenidos en esta investigación, no se realizó un análisis profundo en lo que respecta al funcionamiento del banco de transformadores del área docente en particular y no se detectaron los principales problemas existentes en los paneles y en las redes.

(4) En este trabajo se realizó un diagnóstico energético ambiental del ISMM, los resultados obtenidos en esta investigación plantean que a partir del análisis realizado al sistema de alimentación eléctrico del ISMM y en lo correspondiente al banco de transformadores del bloque docente se obtuvieron excelentes resultados al analizar el estado de carga, se determinó que el transformador que brinda servicio monofásico se encontraba sobrecargado y el de servicio trifásico subcargado. Se determinó el comportamiento de las principales magnitudes del banco como son de P, Q y S, además de establecer el horario de las 9:00 AM como el de mayor consumo en el área docente. Pero sus resultados no van más allá de un resultado en el que podamos encontrar una solución a los problemas de consumo de energía eléctrica en el área docente. No se determinó el comportamiento de la demanda real de cada área (edificios y locales) además de los gráficos de carga, no se presentó un documento donde se plasmen los principales problemas que pueden presentarse con el tipo de conexión del banco de transformadores y propuestas de medidas para la solución de estos problemas.

(10) En este trabajo se realizó un análisis integral sobre el uso de transformadores monofásicos para el servicio combinado en el bloque docente del ISMM. Es un excelente trabajo, ya que es el más completo realizado hasta el momento. En la investigación se logró determinar las causas que provocan el funcionamiento ineficiente del banco docente, y se evaluaron las vías para solucionarlo. A pesar de los excelentes resultados obtenidos, no se trabajó en función de la reelaboración de los esquemas monolineales actualizados de las distintas áreas, no se presentó un procedimiento para el control del consumo energético de cada área independiente, y no se detectó el consumo energético de cada área (edificio) en el bloque docente.

1.2 Fundamentación teórica.

El continuo crecimiento de las cargas que demandan energía eléctrica para su operación, impone la necesidad de incrementar ininterrumpidamente el suministro de dicha energía. Su generación se lleva a cabo en las plantas generadoras a un nivel de tensión moderado. Como se sabe, la transmisión de esta energía a grandes distancias obliga a emplear voltajes elevados, mientras que su utilización debe realizarse necesariamente a valores reducidos de tensión, que no ofrezcan peligro para el consumidor, y es aquí donde el transformador juega su importante papel.

La reducción final de la tensión a los valores de utilización para el consumo residencial se lleva a cabo mediante los transformadores de distribución, los que tienen relativamente poca potencia (5, 10, 50, 75 y 100 kVA) y se conectan a líneas de distribución primaria (4.16 ó 13.2 kV), mientras por el lado de baja son generalmente de 240 V. Para los transformadores de distribución monofásicos el lado de baja tiene una conexión central de la cual se obtiene 120 V.

Existen consumidores tanto monofásicos como trifásicos; por lo que se hace necesaria la conexión en banco trifásico. Un transformador trifásico consta de tres transformadores monofásicos, bien separados o combinados sobre un núcleo. Los primarios y secundarios de cualquier transformador trifásico pueden conectarse independientemente en estrella (Y) o en delta (Δ). Esto da lugar a cuatro conexiones posibles para un transformador trifásico.

- ❖ Conexión estrella (Y) – estrella (Y)
- ❖ Conexión estrella (Y) – delta (Δ)
- ❖ Conexión delta (Δ) – estrella (Y)
- ❖ Conexión delta (Δ) – delta (Δ)

Los transformadores de distribución trifásicos se emplean abundantemente en las redes subterráneas de las ciudades, considerando el menor espacio necesitado por él en la cavidad subterránea, su alto rendimiento y su menor costo inicial. Para redes aéreas (montaje para poste o plataforma) tres unidades monofásicas resultan más convenientes, por la fácil suspensión y montaje de las pequeñas unidades.

La conexión a seleccionar por el primario de estos bancos depende del nivel de tensión del circuito:

Tabla 1.1 Conexión del primario de un transformador de acuerdo al nivel de tensión.

Nivel de tensión (kV)	Conexión de los primarios
2.4	Delta
4.16	Estrella
7.2	Delta
7.6	Delta
13.2	Estrella

La tensión de los secundarios viene determinada por las tensiones que solicite el consumidor:

Tabla 1.2 Conexión del secundario de acuerdo al nivel de tensión.

Servicio solicitado (V)	Conexión de los secundarios
120/240	Delta o delta abierta ambos con derivación central
110/220	Delta con derivación central
120/208	Estrella
127/220	Estrella

Para determinar la capacidad de los transformadores del banco es necesaria la demanda máxima en kVA monofásico y trifásico del consumidor o en su efecto, conocer los kVA instalados monofásicos y trifásicos del consumidor y su factor de demanda.

1.2.1 Aplicaciones de las conexiones de transformadores más utilizadas.

Conexión estrella abierta – delta abierta:

Cuando existen grandes cargas monofásicas y pequeñas cargas trifásicas. Las cargas monofásicas de 240V como máquinas de soldar, motores, calentadores, etc., se conectarán en el transformador de fuerza a-b (fig.1.1) y toda la carga monofásica de alumbrado de 120V en el transformador con derivación central a-c (ver fig.1.1).

Este transformador con derivación central se denomina comúnmente por los obreros y técnicos eléctricos como transformador de alumbrado.

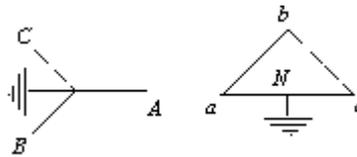


Fig.1.1. Conexión estrella abierta-delta abierta.

La limitación fundamental que posee esta conexión es su ineficiencia si predomina la carga trifásica, por lo que debe cumplirse el siguiente criterio para su selección.

Esta conexión se utilizará cuando el cociente de dividir los kVA monofásicos entre los trifásicos sea menor que tres, y los kVA monofásicos sean menor que 100 kVA.

La distribución entre los dos transformadores se efectuará de la forma siguiente:

El transformador de alumbrado llevará toda la carga de alumbrado de 110V más el 58% de la carga trifásica y el transformador de fuerza llevará la carga monofásica de 240V y el 42% de la carga trifásica.

Conexión estrella no aterrada – delta: Cuando existen altas cargas trifásicas y bajas cargas monofásicas (fig.1.2)

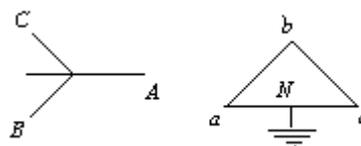


Fig.1.2 Conexión estrella no aterrada- delta.

Las limitaciones de esta conexión radican en que si se abre un primario del banco puede dañar los motores sin protección de sobre corriente, aunque se puede reconectar el banco y seguirá prestando servicio trifásico y monofásico con una capacidad menor.

La distribución de la carga en los transformadores será: El transformador de alumbrado llevará el 33% de la carga trifásica y el 67% de la carga monofásica y los de fuerza llevarán cada uno el 33%, es decir, el 67% de la carga de fuerza y entre los dos el 33% de la carga de alumbrado.

Conexión estrella aterrada - estrella aterrada:

Cuando existen grandes cargas de alumbrado y de fuerza como en áreas comerciales, industriales, etc. (fig.1.3)

Las limitaciones son: precisa de un aterramiento sólido y de baja resistencia y genera algunas interferencias telefónicas.

La distribución de las cargas monofásicas es simétrica, es decir, 1/3 de la carga por fase.

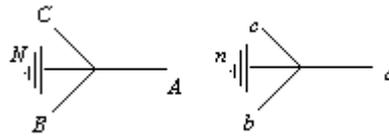


Fig.1.3 Conexión estrella aterrada- estrella aterrada.

Conexión delta abierta- delta abierta:

Cuando existen grandes cargas monofásicas y cargas trifásicas iguales o menores a las monofásicas (fig. 1.4).

Limitación: no es eficiente su aplicación con cargas trifásicas solamente.

La distribución de las cargas es conectando las cargas monofásicas de 220V al transformador de fuerza y las monofásicas de 110V al de alumbrado.

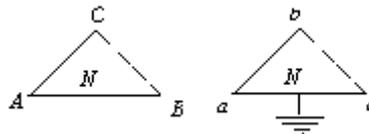


Fig.1.4 Conexión delta abierta- delta abierta.

Conexión delta – delta:

Cuando existen grandes cargas trifásicas con pequeñas cargas monofásicas y no se desea interferencia en el sistema telefónico (fig. 1.5).

Las limitaciones fundamentales es que todos los transformadores deben de tener la misma impedancia y el mismo rango de regulación de tensión para que no se produzcan corrientes circulantes en este.

La distribución de la carga es de la manera siguiente: el transformador de alumbrado lleva las 2/3 partes de la carga monofásica y 1/3 de la de fuerza, los otros dos transformadores de fuerza llevan 1/3 de la carga trifásica y 1/3 de el alumbrado.

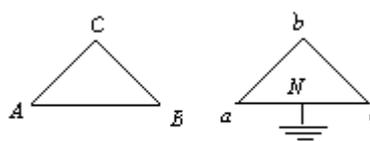


Fig.1.5 Conexión delta-delta

Conexión delta- estrella:

Cuando existen grandes cargas de alumbrado y de fuerza en zonas industriales y comerciales (fig.1.6).

La limitación fundamental es que si se daña un transformador, el banco no puede prestar servicio trifásico.

La distribución de las cargas se balancea entre las tres fases.

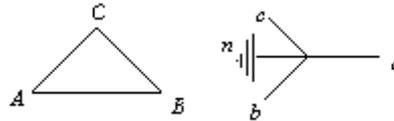


Fig. 1.6 Conexión delta- estrella.

Para un mejor criterio de selección se analizarán algunas de las conexiones más utilizadas:

1.2.2 Análisis de las conexiones completas de transformadores monofásicos en bancos trifásicos.

Conexión Y-Y con o sin neutro:

En la fig.1.7 se muestran tres transformadores conectados en Y-Y sin neutro.

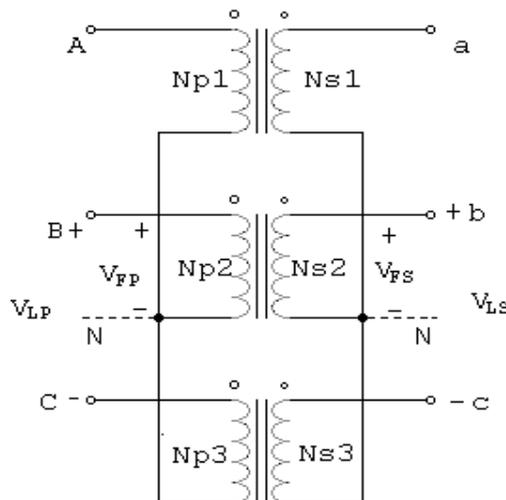


Fig. 1.7 Conexión Y/Y (el neutro aparece con líneas discontinuas).

La corriente en cada devanado del transformador es la misma que la de la línea, y la tensión a la que está sometido cada devanado es igual a la tensión de la línea dividida por $\sqrt{3}$, o sea, la tensión de la línea por 0.58. La potencia en kVA de cada

transformador deberá ser igual a un tercio de la carga total en kVA que debe suministrar. La potencia total en kVA transmitida por una línea trifásica equilibrada es igual a $\sqrt{3} * I * U$ (donde I es la corriente en cada uno de los hilos de la línea y U es la tensión entre los hilos). De donde la potencia de cada transformador en kVA será:

$$\frac{\sqrt{3} * I * U}{3} = 0.58 * I * U.$$

La conexión Y-Y sin neutro es muy poco empleada.

En la fig.1.7 se muestra el mismo acoplamiento con la variante de que los circuitos primario y secundario son con neutro (este aparece con líneas discontinuas) de este modo en un circuito primario y secundario a cuatro hilos, se recomienda que cada terminal de la derecha de los primarios se conecte a la línea y que cada terminal de la izquierda sea conectado al neutro, o viceversa.

Los transformadores conectados en Y-Y presentan, en su tensión secundaria, una tercera armónica muy marcada en su tensión secundaria. Esta tensión producirá el paso de una considerable corriente de carga, de las líneas a tierra, resultando con ello disturbios inductivos. Para eliminar este efecto, los transformadores conectados de esta manera deberán ir provistos en cada fase de un devanado secundario auxiliar, llamado devanado terciario, los cuales están conectados en triángulo cerrado. Algunas veces el devanado terciario, al mismo tiempo que procura la corrección del tercer armónico también se emplea para el suministro de alguna carga activa.

La conexión Y-Y₁₂ con neutro se emplea en los casos en que la carga, sea de naturaleza mixta alumbrado-energía. Los motores se conectan para una tensión de línea de 220V ó 380V, mientras las lámparas se conectan entre uno de los conductores de la línea y el hilo neutro, es decir, en paralelo con la tensión:

$$\frac{220}{\sqrt{3}} = 127V \quad \text{ó} \quad \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

Como una tensión, dada la corriente, aumenta proporcionalmente a la potencia, para evitar las dificultades que presenta la disposición del devanado para grandes corrientes, la norma 401-41 (URSS) restringe la máxima potencia del transformador en

el caso de la conexión Y-Y₁₂ dentro de la tabla 1.3. En este caso si la carga es irregular, la corriente en el hilo neutro del transformador puede exceder el 25% de la corriente nominal del devanado de baja tensión.

En los casos en que la tensión nominal del secundario excede de 4000V, la norma 401-41 estipula el uso de la conexión de enrollados Y-Δ₁₁. Como se puede deducir de lo que exponemos a continuación, la conexión en Δ de uno de los devanados repercute favorablemente en las condiciones del funcionamiento del transformador.

El último grupo de transformadores reseñado en la tabla 1.3 pertenece principalmente a las líneas de transporte de energía. La conexión del enrollado de estos transformadores por el método Y₀-Δ₁₁ hace posible la puesta a tierra del sistema del lado de alta tensión.

Tabla 1.3 Tensiones y potencias de los transformadores con diversas conexiones de los enrollados.

Símbolos de conexión del enrollado	Tensión del enrollado		Potencia del transformador kVA
	Alta tensión kVA	Baja tensión V	
Y/Y ₀₋₁₂	Hasta 35 (inclusive) Ídem	230 400	Hasta 560 (inclusive) Hasta 1.800 (inclusive)
Y/Δ ₁₁	Hasta 35 (inclusive)	525 Más de 525	Hasta 1.800 (inclusive) Hasta 5.600 (inclusive)
Y ₀ /Δ ₁₁	110 y más alta 6,3 y más alta	3.150 y más alta 3.300 y más alta	3.200 y más alta 7.500 y más alta

Conexión Δ- Δ.

En la fig.1.8 se muestran tres transformadores monofásicos conectados en banco Δ-Δ. En esta conexión no existe la posibilidad de un neutro simétrico como en el caso anterior, siendo las tensiones de línea a línea las que aparecen entre los terminales de cada transformador monofásico.

Los tres transformadores están conectados en serie en un circuito cerrado, y cada hilo de la línea se conecta a la conexión entre dos de los transformadores. Las tensiones del transformador, tanto del primario como del secundario, son respectivamente las tensiones de las líneas primaria y secundaria. La corriente en cualquier enrollado es igual a la de la línea sobre $\sqrt{3}$, o multiplicado por 0.58. La potencia en kVA de cada transformador deberá ser igual a un tercio de la potencia total en kVA transmitida por una línea trifásica equilibrada, igual a $1.73 * I * U$ (donde I es la intensidad de corriente de la línea en cada uno de sus conductores y U es la tensión entre hilos). De donde la potencia en kVA de cada transformador deberá ser $\frac{\sqrt{3} * I * U}{3} = 0.58 * I * U$.

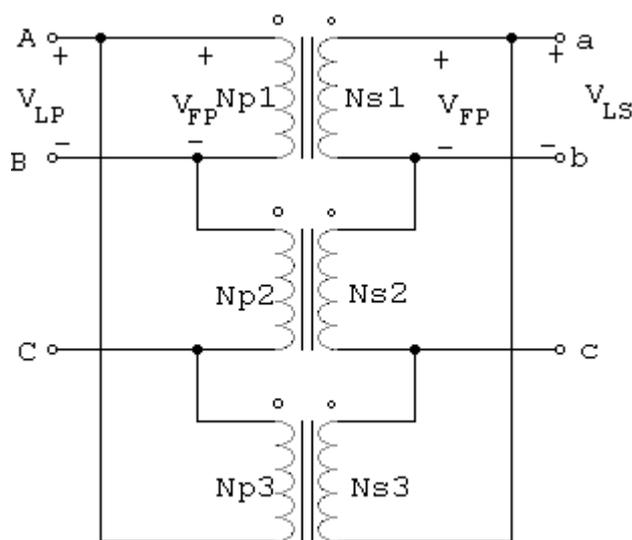


Fig. 1.8 Conexión Delta – Delta.

En Cuba, en ocasiones, la energía eléctrica se distribuye con bancos de transformadores en delta, con una derivación a tierra como se muestra en la fig. 1.9 para obtener tensión monofásica en el mismo sistema. En estos casos la potencia o energía que entrega el banco se puede medir por medio del esquema representado en la fig. 1.9; donde:

$$P = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3}$$

$$P = U_{10} * I_1 * \cos \beta_1 + U_{20} * (I_2 * \cos \beta_2 + I_{20} * \cos \beta_{20}) + U_{30} * (I_3 * \cos \beta_3 + I_{30} * \cos \beta_{30}) \quad |$$

donde:

$$I_1 * \cos \beta_1 = I_{12} \cos(30 - \varphi_{12}) - I_{31} \cos(150 - \varphi_{31})$$

$$I_2 * \cos \beta_2 = I_{23} \cos \varphi_{23} - I_{12} \cos(120 - \varphi_{12})$$

$$I_3 * \cos \beta_3 = I_{31} \cos(60 - \varphi_{31}) - I_{23} \cos(180 + \varphi_{23})$$

$$U_{23} = U_{20} = \frac{U_f}{2}; U_{10} = \frac{\sqrt{3}}{2} * U_f$$

Sustituyendo todo esto en (I) y realizando todas las operaciones necesarias, obtenemos:

$$P = \frac{U_f}{2} * (2 * I_{12} * \cos \varphi_{12} + 2 * I_{23} * \cos \varphi_{23} + 2 * I_{31} * \cos \varphi_{31} + I_{20} * \cos \varphi_{20} + I_{30} * \cos \varphi_{30})$$

Lo que demuestra, que la suma de la indicación de los tres wattímetros es igual a la potencia total que entrega el banco de transformadores.

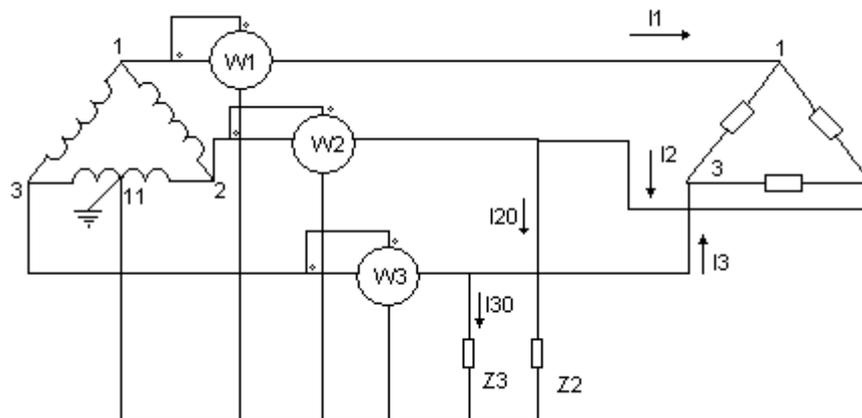


Fig. 1.9 Esquema para medir potencia en circuitos de distribución.

Después de abordar algunas conexiones completas analizaremos otras conexiones existentes.

1.2.3 Análisis de las conexiones incompletas de transformadores monofásicos en bancos trifásicos.

Además de las conexiones usuales de los transformadores trifásicos, existen otras formas para transformar corriente trifásica con solo dos transformadores. Todas las técnicas usadas para esto se basan en la reducción de la capacidad de carga de los transformadores, que puede justificarse por ciertos factores económicos

Algunas de las principales conexiones de este tipo son:

- 1- La conexión Y abierta - Δ abierta.
- 2- La conexión Δ abierta (o V-V).

Conexión Y abierta - Δ abierta.

Este tipo de conexión es similar a la conexión delta-abierta, con la diferencia de que los voltajes primarios se obtienen a partir de dos fases y un neutro. Esta conexión se ilustra en la fig.1.10.

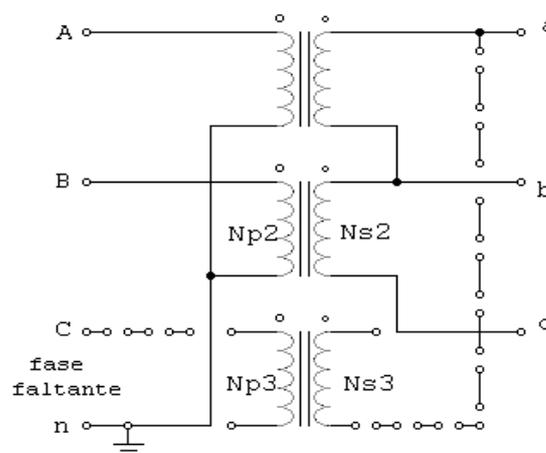


Fig. 1.10 Conexión Estrella abierta-Delta abierta

Se utiliza para dar servicio a clientes de comercio pequeños que necesitan corriente trifásica en áreas rurales en donde aún no se han instalado las tres fases en los postes de la línea de conducción. Con esta conexión, un usuario puede obtener servicio de corriente trifásica de manera provisional, hasta que con el aumento de la demanda se requiera la instalación de la tercera fase en los postes de conducción.

La desventaja principal de esta conexión es que por el neutro del circuito primario debe fluir una corriente de retorno considerablemente grande.

La conexión Δ abierta (o V-V).

En varias ocasiones no se dispone de un transformador trifásico o no se justifica su uso y para el servicio trifásico se emplean tres transformadores monofásicos que pueden ser de iguales o diferentes características. Para su uso es común la conexión de los mismos en delta (fig.1.11) ó en delta abierta (fig.1.12).

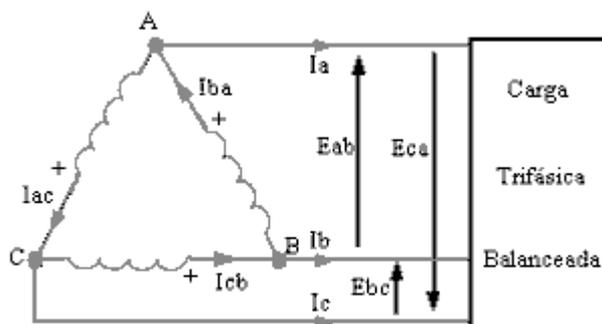


Fig. 1.11 Conexión delta, con carga trifásica balanceada.

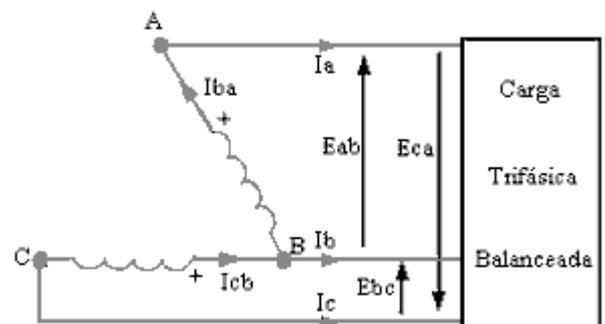


Fig. 1.12 Conexión V, con carga trifásica balanceada.

Posibles usos de la delta abierta:

- Cuando la carga trifásica es relativamente pequeña y no se justifica el uso de uno trifásico.
- Cuando uno de los transformadores del banco Δ - Δ está averiado y el servicio debe continuar mientras dura la reparación o se sustituye por uno en buen estado.
- Cuando se previó un futuro aumento de la carga y para ello se completará con un tercer transformador monofásico el banco Δ - Δ .
- Cuando no se dispone del transformador trifásico adecuado a la exigencia de la carga.

Potencia activa y reactiva en la conexión Δ y V

Para determinar la potencia que entrega cada transformador se puede partir del resultado que plantea “la potencia total de la carga independientemente de las condiciones de la misma, es la suma de la indicación de los dos wattímetros” en los trabajos de mediciones eléctricas.

La potencia activa y reactiva total del sistema trifásico simétrico visto en la fig.1.13 se puede escribir partiendo de la fase B como punto común en la forma:

$$\begin{aligned} P_t &= P_{t1} + P_{t2}; & P_{t1} &= E_{ab} I_a \cos(\beta_1) & P_{t2} &= E_{cb} I_c \cos(\beta_2) \\ Q_t &= Q_{t1} + Q_{t2} & Q_{t1} &= E_{ab} I_a \sin(\beta_1) & Q_{t2} &= E_{cb} I_c \sin(\beta_2) \end{aligned} \quad (1)$$

Donde $\beta_1 = 30 + \varphi_{ab}$ $\beta_2 = -30 + \varphi_{bc}$ ángulo de defasaje entre (E_{ab} y $I_a = I_{ba}$) y (E_{cb} y $I_c = -I_{cb}$) respectivamente.

Sustituyendo β_1 y β_2 según el diagrama vectorial en la ecuación (1) se obtiene.

$$\begin{aligned} P_{t1} &= E_{ab} I_a \cos(30 + \varphi_{ab}) & P_{t2} &= E_{cb} I_c \cos(-30 + \varphi_{bc}) \\ Q_{t1} &= E_{ab} I_a \sin(30 + \varphi_{ab}) & Q_{t2} &= E_{cb} I_c \sin(-30 + \varphi_{bc}) \end{aligned} \quad (2)$$

Para un sistema trifásico simétrico en magnitud y fase.

La ecuación anterior, para igualdad de tensiones y corrientes es:

$$\begin{aligned} P_{t1} &= U I \cos(30 + \varphi) & P_{t2} &= U I \cos(-30 + \varphi) & P_t &= 1.73 U I \cos(\varphi) \\ Q_{t1} &= U I \sin(30 + \varphi) & Q_{t2} &= U I \sin(-30 + \varphi) & Q_t &= 1.73 U I \sin(\varphi) \end{aligned} \quad (3)$$

Donde U y I son magnitudes de línea. También se pueden expresar a través de las magnitudes de fase a través de (4).

$$P_t = 3 U_f I_f \cos(\varphi) \quad Q_t = 3 U_f I_f \sin(\varphi) \quad (4)$$

Para una conexión delta abierta la ecuación (2) nos dice que la distribución de carga solo es igual para ambos transformadores con el factor de potencia igual a la unidad, ($\varphi = 0$). En este caso se obtiene que:

$$P_{t1} = P_{t2} = (\sqrt{3}/2) U I \quad (5)$$

La corriente en las líneas para conexión delta completa es 1.73 veces la corriente en las fases. En la conexión delta abierta, se afecta tal posibilidad por cuanto por los

transformadores, que antes circulaban corrientes de fases, ahora circulan corrientes de líneas y deben reducir sus posibilidades en igual proporción.

$$P_t = 1.73 U_L I_L \cos(\varphi) = 1.73 U_f I_f \cos(\varphi) \quad (6)$$

La corriente nominal es la misma en cada transformador, aun si hay dos o tres de estos. El voltaje también es el mismo en cada uno de ellos; así que la relación de la potencia de salida disponible en el grupo delta abierto y la potencia de salida disponible del grupo trifásico normal es

$$P_{V\text{-abierto}} / P_{3\text{-fases}} = (1.73 * V_F * I_F) / (3 * V_F * I_F) = 1 / 1.73 = 0.577 \quad (7)$$

La potencia disponible que sale del grupo en delta-abierto es sólo el 57.7% de la potencia nominal del grupo original.

Desventajas de la conexión en V o delta abierta.

Para el normal funcionamiento, cada uno de los transformadores conectados en V no solamente deben ser mayores que cada uno de los transformadores conectados en triángulo, sino que además la potencia combinada de los dos debe ser un 15.5 % mayor que la de los tres transformadores. Este aspecto por si solo, no representa una desventaja para la conexión en V, ya que los dos transformadores mayores son exactamente iguales tanto de materiales de construcción como de eficiencia de funcionamiento. La verdadera objeción a la conexión V para un trabajo importante reside en que la impedancia local de los transformadores tiende a producir enormes desequilibrios en las tensiones secundarias y en las corrientes primarias. A pesar de estas desventajas (que son de pequeñas consecuencias en distribuciones que trabajen con primario a 2200 V) muchos grupos conectados en V están funcionando satisfactoriamente.

La delta abierta permite ofrecer servicio combinado, o sea, puede alimentar cargas trifásica y monofásica simultáneamente.

1.2.4 Conexión incompleta para servicio combinado (monofásico y trifásico).

En el análisis de la conexión delta abierta para servicio combinado (fig.1.13) el análisis se puede realizar para cada transformador de forma individual o en base al funcionamiento de una conexión trifásica en régimen asimétrico.

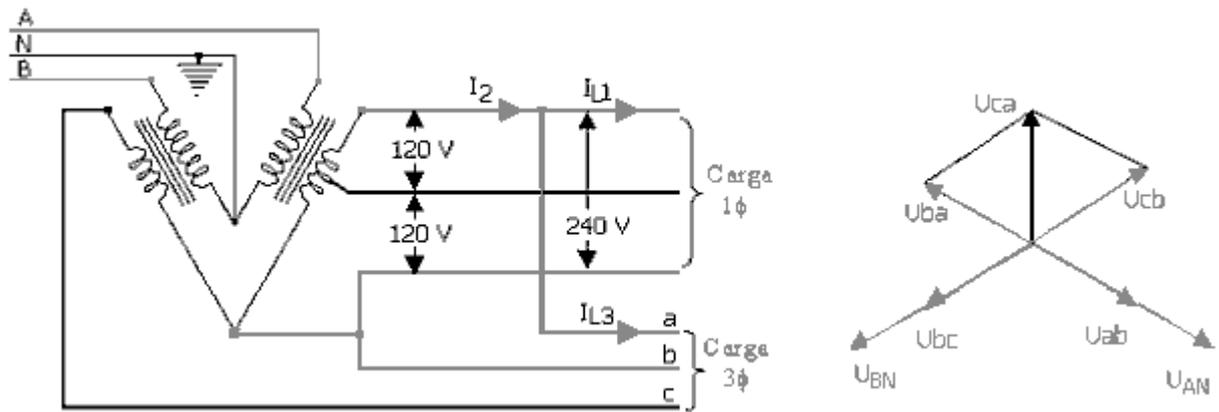


Fig. 1.13. Conexión estrella aterrada, delta abierta para servicio de dos niveles de tensión.

El transformador con punto medio permite obtener tensiones monofásicas para servicio de tensión diferente de la existente entre línea, además de garantizar el servicio trifásico. No siempre se conecta a tierra el punto medio de ese transformador.

Toda la carga monofásica va hacia un solo transformador lo que hace una carga asimétrica permanente para el sistema trifásico. El otro transformador solo sirve para carga trifásica, y en dependencia de su potencia puede ser subutilizado, por ello generalmente su potencia es menor comparada con el destinado a ambos servicios.

1.2.5 Comparación de un transformador trifásico con un grupo de transformadores monofásicos.

La comparación de un transformador trifásico con un grupo de transformadores monofásicos (“Standard Handbook”) necesario para obtener el mismo servicio ha sido resumida por J. S. Peek como sigue:

Ventajas del transformador trifásico: (1) bajo costo, (2) mayor eficiencia, (3) menor superficie ocupada y menor peso, (4) simplificación en las conexiones exteriores, y (5) reducción en las cargas a transportar y en el costo de la instalación.

Desventajas del transformador trifásico: (1) mayor costo de los elementos de recambio, (2) en la eventualidad de una avería, mayor perturbación en el servicio, (3) costo de reparación más elevado, (4) se obtiene en unidades auto refrigeradas una

potencia más reducida, y (5) mayores dificultades en sacar tomas para numerosas tensiones.

Se considera que el transformador trifásico posee ciertas positivas y reales ventajas sobre el grupo monofásicos, mientras que sus desventajas son principalmente las que resultan de su eventual avería, lo que cada vez es más raro por los perfeccionamientos en la construcción de los transformadores.

1.2.6 Comparación entre los métodos de conexión delta-estrella y delta abierta.

La elección entre estos métodos indica principalmente las necesidades del servicio. Cuando tres transformadores están conectados en delta, puede retirarse uno de ellos sin interrumpir el funcionamiento del circuito, en cierta manera, los dos transformadores restantes, actuando en serie, llevan la carga del transformador que falta. El deseo de tener cierta garantía, al suprimir un transformador debido a una avería, ha hecho bastante extensivo el empleo de la conexión de transformadores en delta, especialmente en los suministro de baja tensión. Debe notarse que en el caso de que un transformador se averíe, los otros dos quedarán sometidos a un gran aumento de pérdidas.

Así es que si tres transformadores conectados en delta se cargan igualmente hasta que cada uno lleve 100 A, en cada conductor del circuito externo habrá 173 A. Si se retira un transformador y deben continuar suministrando a cada hilo del circuito exterior los 173 A, cada uno de los restantes transformadores deberá llevar 173 A, ya que ahora quedan en serie con el circuito exterior. Por lo tanto, ahora cada transformador presenta tres veces más pérdidas en el cobre que cuando funcionaban los tres transformadores, o bien las pérdidas totales en el cobre quedan aumentadas a un valor de seis respecto a su primitivo valor de tres. Frecuentemente se efectúa una instalación en delta abierta donde, en el futuro, se espera un considerable aumento de carga. El aumento se puede servir añadiendo el tercer transformador al grupo, y con esta adición, la capacidad de carga que puede llevarse queda aumentada alrededor del 75 por ciento.

El cambio de delta a estrella, en el circuito secundario, altera la relación de Fem a transmitir al receptor, de 1 a 1.73. Debido a este hecho, cuando la Fem en el circuito de

transmisión es tan elevada, la garantía del aislamiento de las bobinas y su construcción tienen una importancia peculiar, y por ello los transformadores en el lado de la línea de la mayoría de transformadores que trabajan en sistemas de 10 kV o más, son conectados en estrella.

1.3 Dispositivo de protección. (breaker)

La energía consumida por los conductores durante un cortocircuito es tal, que pueden calentarse hasta el extremo de fundirse o volatizarse. Es por esto que los circuitos alimentadores, deben ser adecuadamente protegidos contra sus perjudiciales efectos.

Los Breakers o disyuntores son interruptores automáticos utilizados como dispositivos de protección contra cortocircuitos, los cuales son conectados directamente a las líneas.

Estos dispositivos poseen disparos instantáneos ajustables contra cortocircuitos y, en algunos casos, se les provee con combinación de disparos contra cortocircuitos y sobrecargas. Pueden reponerse, por lo general, de forma muy rápida mediante la acción mecánica luego de una actuación. Además, suelen fabricarse con mayor capacidad y desde uno a varios polos en un mismo dispositivo.

Selección del interruptor (breaker).

Los breakers son dispositivos diseñados para interrumpir las corrientes de fallas producidas en el sistema eléctrico que no excedan aquellos niveles para los que se espera que los mismos accionen exitosamente. Estos dispositivos deben ser seleccionados bajo dos criterios:

- 1) Corriente en régimen de operación normal.
- 2) Nivel máximo de corriente que debe ser capaz de interrumpir en condiciones de falla en el sistema (capacidad de interrupción). El breaker seleccionado debe poseer una capacidad de interrupción de corriente igual o superior a la mayor corriente de falla que pueda producirse en el punto del sistema en el cual se encuentre ubicado.

A continuación se pone a consideración valores de corriente de operación con que se fabrican las protecciones convencionales contra cortocircuitos de circuitos eléctricos:

breakers (A): 15, 20, 30, 40, 50, 63, 70, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 300, 350, 400, 500, 600, 700 y 800.

1.4 Selección de Conductores.

La selección de los conductores del alimentador para todos los tipos de circuitos de tensiones primarias y secundarias deben hacerse sobre la base de una consideración cuidadosa de muchos factores involucrados.

La selección de los conductores se determina de acuerdo a:

- La corriente de carga aplicada.
- Caída de tensión.
- Elevación de temperatura dentro de los límites del aislamiento.
- Pérdidas de energía razonables.
- Capacidad para soportar el calentamiento de los cortocircuitos.
- Capacidad de reserva para el crecimiento de carga.

Los conductores eléctricos se dividen en dos tipos fundamentales, denominados alambres y cables.

Los alambres se construyen con su sección transversal de metal macizo, mientras que la sección transversal de los cables está formada por varios alambres retorcidos, los que les permite mayor flexibilidad. A continuación en las figuras A) y B) se muestran las vistas de las secciones transversales correspondientes a un alambre y a un cable respectivamente, a fin de observar más claramente su diferencia.



Fig. 1.14. Sección transversal de un alambre.



Fig. 1.15. Sección transversal de un cable.

El metal más utilizado en la confección de los conductores eléctricos es el cobre, aunque en algunos casos también se utiliza el aluminio. El cobre es mejor conductor de la electricidad, mientras que el aluminio es menos pesado y en ocasiones puede ser muy sustancial. Los valores del cobre como los del aluminio son los más generales del mercado por lo que cada sector del país debe ajustarse a los que tienen a su disposición.

1.4.1 Selección del calibre del conductor.

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

- Por calentamiento.

La temperatura de calentamiento del cable y consecuentemente la corriente están limitadas por la temperatura admisible para el aislamiento del cable y dependen del material del aislamiento. La sección se determina mediante tablas que toman en cuenta la temperatura del cable, las cuales son disponibles en diferentes manuales. La sección seleccionada debe ser mayor que la de cálculo, es decir se debe tomar la sección inmediata mayor.

- Por caída de voltaje.

Durante la selección de la sección por caída de voltaje se debe tomar la sección inmediata mayor. Sin embargo, en algunos casos cuando la sección de cálculo está muy cercana a una estándar se puede adoptar, aún cuando sea la inmediata menor. Esta solución se ejecuta sobre la base de experiencia de ingeniería y de los datos concretos acerca de la certeza de las cargas eléctricas utilizadas en los cálculos.

- Por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito.

La temperatura de calentamiento se determina tanto por la magnitud de la corriente como por el tiempo de su ocurrencia. El cálculo se basa en la cantidad de calor que se desprende en el intervalo de tiempo determinado y consecuente calentamiento del cable. Se selecciona la sección inmediata inferior, y el fundamento de este proceder es que el propio método de cálculo implica un elevado porcentaje de errores en exceso de las secciones.

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

Un conductor eléctrico de una sección transversal determinada, puede soportar ciertos valores de corriente máxima, para una temperatura ambiental dada. Magnitudes de corriente por encima del valor especificado pueden producir calentamientos tales, que el conductor sufrirá serios daños en su envoltura aislante. Por esta razón es necesario seleccionar un conductor con determinada sección transversal mínima, de modo que

pueda soportar, sin perjuicio alguno para su aislamiento, la magnitud de corriente deseada. Por otro lado, atendiendo a razones de carácter económico y práctico, no es aconsejable optar por conductores con un área extremadamente holgada al realizar la selección de los mismos.

Se fabrican diferentes aislamientos sobre la base de las diversas condiciones ambientales en que los mismos han de operar. A continuación se representa en una tabla 1.4 las relaciones más utilizadas para la determinación del aislamiento de los conductores más utilizados.

Tabla 1.4 Aplicación de conductores eléctricos.

Nombre de fabricación	Letra del Tipo	Temperatura máxima de operación	Aplicaciones y limitaciones
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

Para condiciones de humedad ambiental se recomienda el aislamiento tipo TW (termoplástico), el cual es el más comúnmente utilizado, capaz de soportar una temperatura máxima de 60°C.

Los valores correspondientes al factor F.C que incluye el efecto producido por un número dado de conductores a través de una misma tubería, son expuestos a continuación mediante la tabla 1.5:

Tabla 1.5 Valores correspondientes al factor F.C.

Número de conductores a través de una misma tubería	F.C
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, aplicable a conductores de cobre o de aluminio, son representados a continuación mediante la siguiente tabla:

Tabla 1.6 Valores correspondientes al factor F.T.

Temperatura (⁰C)	F.T
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

A continuación se expone mediante una expresión como se determina la corriente que puede suponerse circulando por el conductor (I_c) en caso de que existan condiciones críticas de operación, a los efectos de una adecuada selección del mismo:

$$I_c = \frac{1.25 * I_{carga}}{F.T * F.C}$$

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

$F.T$ → Factor de temperatura, (tabla).

$F.C$ → Factor de número de cables por un conducto, (tabla).

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

1.4.3 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 dispositivo de utilización en el circuito se diseñó para el mayor rendimiento a la tensión 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, habrá generalmente efectos adversos debido a la operación a tensiones menores que el valor especificado, o a valores muchos mayores que el valor máximo determinado para su tensión extendida.

La caída de tensión 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 lo que para evitar un pobre rendimiento y los otros malos efectos, los conductores de los circuitos deben de seleccionarse para que mantengan la caída de tensión en dicho circuito dentro del 3%.

Aunque al cargar el circuito al 60% (recomendación) ofrece una protección sustancial contra la caída de tensión excesiva, el tamaño o la sección del conductor para tendidos largos debería siempre determinarse cuidadosamente para asegurar la estipulación de 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 establecidos con la máxima carga posible.

A continuación se exponen a través de la tabla 1.7 las fórmulas para el cálculo de la sección de los conductores, caída de tensión y pérdida de potencia:

Tabla 1.7 Fórmulas para el cálculo de la selección de los conductores, caída de tensión y pérdida de potencia.

Clase de corriente	Sección	Caída de tensión	Pérdida de potencia
Continua y alterna monofásica (para cc $\cos\varphi = 1$)	Conocida la intensidad $S = \frac{2L * I * \cos\varphi}{\gamma * e}$	Conocida la intensidad $e = \frac{2L * I * \cos\varphi}{\gamma * s}$	$p = \frac{200P * L}{\gamma * s * U^2 * \cos^2\varphi}$
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 $e = \sqrt{3} * I * (r \cos\varphi + x \sin\varphi)$	$p = \frac{100P * L}{\gamma * s * U^2 * \cos^2\varphi}$

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.

1.4.4 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 realiza por la fórmula siguiente:

$$S_{et-c} = \alpha * I_{\infty} * \sqrt{t_r}$$

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 1.8.

Tabla 1.8 Valores del coeficiente de cálculo α y límites admisibles de temperatura de calentamiento para cables ante la presencia de la corriente de c.c.

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

En la confección de la tabla 1.8 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.

1.5 Conclusiones del Capítulo 1.

En este capítulo se realizó una descripción detallada de todas las temáticas a desarrollar en la investigación, referente a la teoría de los transformadores monofásicos en bancos trifásicos, conexiones, aplicaciones además de las ventajas y desventajas de cada conexión.

También se hace referencia al breaker como dispositivo de protección contra corrientes de cortocircuito y se precisa en el tema relacionado con el cálculo de conductores, así como la selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento, caída de voltaje y a la estabilidad térmica al paso de la corriente de cortocircuito.

Capítulo 2. Materiales y Métodos

2.1 Diseño de la investigación.

2.2 Generalidades del sistema de alimentación del área docente.

2.2.1 Conexión de los transformadores del banco docente.

2.2.2 Análisis de los principales paneles eléctricos del área docente.

2.3 Equipos y métodos.

2.3.1 Métodos de mediciones empleados.

2.3.2 Método de cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección del dispositivo de protección (breaker).

2.4 Análisis para la selección de conductores eléctricos.

2.5 Actualización de planos eléctricos.

2.5.1 Esquemas de los principales paneles eléctricos del edificio 1.

2.6 Conclusiones del Capítulo 2.

2.1 Diseño de la investigación.

Partiendo del insuficiente conocimiento del comportamiento de las principales magnitudes eléctricas y estructura que han caracterizado el comportamiento del sistema eléctrico de distribución del área docente en los últimos años; se realizó un análisis bibliográfico con el objetivo de profundizar en cuanto se había avanzado en el tema de la investigación, y que nos proponemos en este trabajo.

Se realizó un levantamiento energético general del sistema de suministro eléctrico de los edificios docentes 1 y 2 por ser los de mayor consumo de esta área, permitiendo determinar las condiciones técnicas y de consumo de la energía eléctrica.

Este comprendió las mediciones de las principales magnitudes eléctricas de los principales paneles de cada edificio y del panel principal del banco de transformadores, permitiendo evaluar el comportamiento de las mismas.

Se tomaron lecturas diarias al contador de energía del banco, lo cual nos permitió analizar el comportamiento del nivel de carga existente en las distintas áreas y general, confeccionar una base de datos con todas las mediciones y conformar las acciones a desarrollar aplicando los conocimientos para la obtención de excelentes resultados en los objetivos propuestos.

Conjunto a estas acciones fue realizado el análisis del banco de transformadores, el cual fue sometido a un estudio general bajo las condiciones de trabajo, permitiéndonos dar una caracterización actualizada del sistema de alimentación al bloque docente.

2.2 Generalidades del sistema de alimentación del área docente.

Características del banco de transformadores del área docente.

El banco de transformadores del área docente está compuesto por dos transformadores monofásicos de 50 kVA cada uno, cada transformador presenta una resistencia de 0.015Ω y una reactancia de 0.253Ω , con una conexión estrella abierta con punto neutro a tierra – delta abierta. Se alimenta de una línea primaria de 13.2 kV y suministra por el secundario 0.24 kV. La corriente nominal a la salida de los transformadores es de 208.3 A.

Abastece todos los edificios docentes, es decir, el edificio de Metalurgia-Electromecánica y sus laboratorios, Minas, Geología, casa de compresores, planta de beneficio, taller de mecánica, y la biblioteca.

A continuación en la fig.2.1 es representado el esquema físico del sistema de alimentación de este bloque.

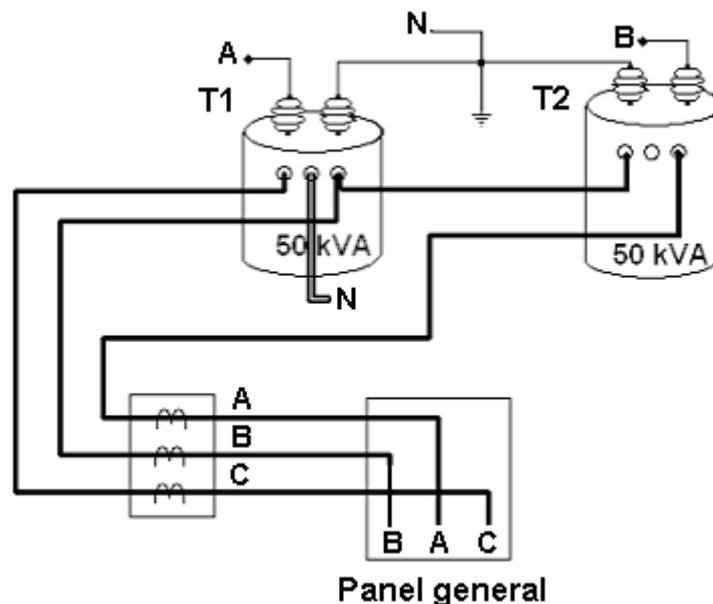


Fig. 2.1 Esquema físico del sistema de alimentación al bloque docente.

2.2.1 Conexión de los transformadores del banco docente.

La conexión actual de los transformadores del banco docente está constituida por una conexión incompleta para servicio combinado (monofásico y trifásico), es decir una conexión estrella aterrada, delta abierta para servicio de dos niveles de tensión, el cual es mostrado en la fig.2.2 mediante un esquema eléctrico.

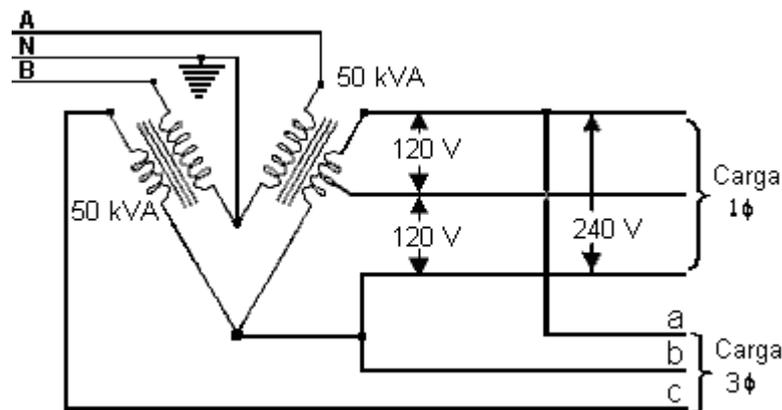


Fig. 2.2 Esquema eléctrico de la conexión de los transformadores del banco docente.

El transformador con punto medio permite obtener tensiones monofásicas para servicio de tensión diferente de la existente entre línea, además de garantizar el servicio trifásico.

Toda la carga monofásica va hacia el transformador con el punto medio, lo que hace una carga asimétrica permanente para el sistema trifásico. El otro transformador solo sirve para carga trifásica, y en dependencia puede ser subutilizado, por ello a pesar de que generalmente su potencia es menor comparada con el destinado a ambos servicios, en este caso ambos transformadores tienen la misma potencia.

2.2.2 Análisis de los principales paneles eléctricos del área docente.

Descripción del panel principal del sistema de alimentación.

La energía eléctrica en el área docente está distribuida a partir del panel principal que se localiza dentro de la caseta ubicada abajo del banco de transformadores. Este panel está formado por 4 cuchillas de 3 fases cada una, las cuales se encuentran en mal estado técnico además de que no se conoce a qué área del bloque docente alimenta cada cuchilla en particular.

A continuación mediante la fig.2.3 es representada el panel principal del banco de transformadores del bloque docente.

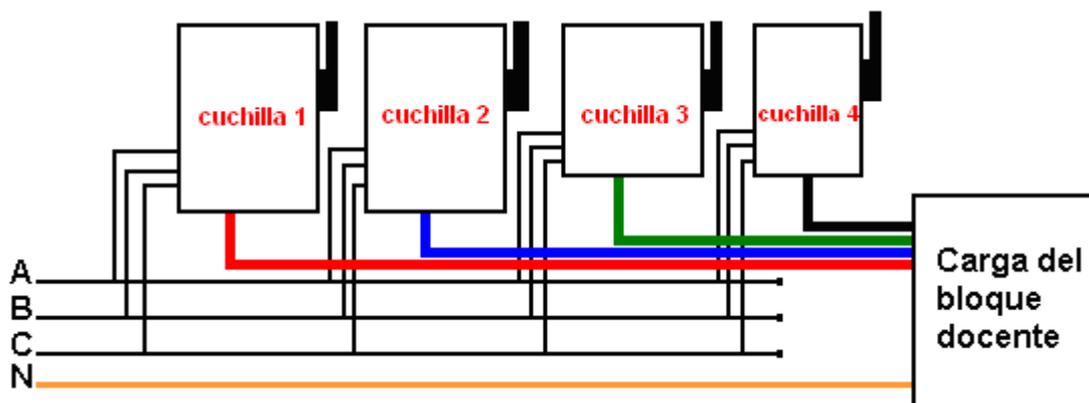


Fig. 2.3 Panel principal del banco de transformadores del bloque docente.

Descripción de los paneles principales por edificio.

Edificio 1:

Panel principal

El panel principal se encuentra localizado en el piso 1, y aparece configurado por 2 breakers y 7 cuchillas. Este se encuentra en mal estado, la pizarra eléctrica está deteriorada y no fijada a la pared. Las cuchillas se encuentran en muy malas condiciones, la cuchilla principal sufre de calentamiento y deterioro grave. Los conductores eléctricos se encuentran en mal estado técnico.

Edificio 2:

El panel principal se encuentra localizado en el piso 1 y está estructurado por un breaker principal y 16 cuchillas. Este aparece en estado crítico, las cuchillas se encuentran en mal estado (sulfatadas), trayendo esto consigo sobrecalentamientos y deterioro del aislante en su gran mayoría. No existe una indicación concreta de a qué local o circuito responde cada cuchilla. La pizarra eléctrica que sostiene a las cuchillas, está totalmente deteriorada por la carcoma y se encuentra en peligro de un incendio. Los conductores eléctricos se encuentran defectuosos, y las puertas de acceso al panel se encuentran supuestas y deterioradas.

Este es el panel principal que presenta mayor problema en el área docente del ISMM y por su importancia, necesita reparación total y sustitución de sus dispositivos de protección urgentemente.

Edificio 3:

El panel principal se encuentra localizado en el piso 1 y está estructurado por 24 cuchillas. En este aparece una cuchilla general de 3 fases con similares características a las cuchillas que se localizan en el panel principal del banco de transformadores, la cual sufre de calentamiento y se encuentra en estado crítico. La pizarra eléctrica se encuentra deteriorada y el panel no presenta puerta protectora.

Edificio 4:

El panel principal se localiza en el piso 1 y se encuentra estructurado por 9 cuchillas y 5 breakers incluido el principal. Este se encuentra en perfecto estado, al igual que sus dispositivos de protección. Los conductores se encuentran en excelentes condiciones técnicas y no sufren calentamiento. La pizarra eléctrica es metálica (aluminio), la cual le brinda un excelente soporte a los dispositivos de protección. Las puertas de acceso al panel se encuentran en buen estado, lo cual brinda una buena seguridad.

2.3 Equipos y métodos.

Equipo de medición.

Las mediciones fueron realizadas con el amperímetro de gancho metrix MX 1140 el cual posee las siguientes características:

Autorrango

I_{AC} 0.1 – 1000

I_{DC} 0.1 – 1000

Ω 1 Ω – 40 K Ω

V_{DC} 0.1V – 1000 V

V_{AC} 0.1V – 600 V

Hz 20Hz – 10 KHz



9V NEDA 1604 6F22 006P

Características del contador de energía del banco de transformadores.

Marca: Landis & Gyr Inepar S/A

Fabricado en: Curitiba - PR – Brasil 1999

Coefficiente de transformación: 400 a 5

Unidad de medida: kWh

Tipo D – 581F 3 Fases 4 Hilo

2.5 – 10 A 1.8 Wh/rev 60 Hz

Nº 5570453

El esquema eléctrico de la conexión de los transformadores de corriente del contador de energía es representado a continuación mediante la fig.2.4:

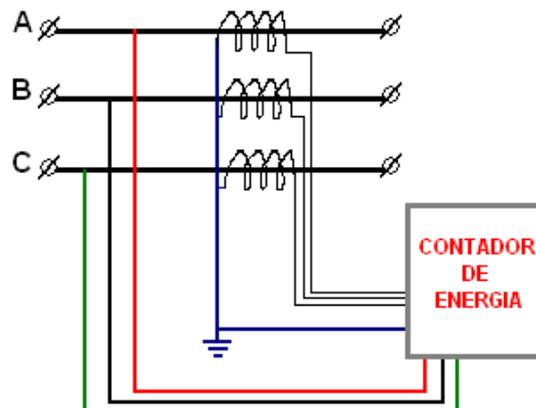


Fig. 2.4 Conexión de los transformadores de corriente del contador de energía.

2.3.1 Métodos de medición empleados.

- Se realizaron mediciones de corriente de fase y tensión de línea en cada cuchilla del panel principal del banco de transformadores, al igual que a las cuchillas principales de cada panel principal correspondiente a los edificios 1, 2, 3 y 4 a lo largo de un período de 7 días, tomando 5 mediciones diarias comprendidas en el horario de 8:00 AM, 10:00 AM, 12:00 PM, 2:00 PM y 4:00 PM. La muestra del cuadro resumen de estas mediciones se muestran en las tablas de anexo 1, anexo 2, anexo 3, anexo 4 y anexo 5.
- Se tomaron lecturas diarias al contador de energía del banco docente en el horario de las 11:00 AM, donde se realizó un análisis del comportamiento de la energía consumida en el banco.
- Se determinaron las pérdidas en los alimentadores teniendo en cuenta los valores de resistencias de cada edificio, a través de la siguiente expresión:

$$P = I^2 * R$$

Características del alimentador: Calibre 500 Cmils, R = 0.0221 Ω /1000 ft o R = 0.0221 Ω /304.8 m, y soporta una corriente hasta 380 A.

Valores de resistencia del alimentador por edificio:

$$R (\text{edificio 1}) = 0.0094 \Omega$$

$$R (\text{edificio 2}) = 0.0028 \Omega$$

$$R (\text{edificio 3}) = 0.01 \Omega$$

$$R (\text{edificio 4}) = 0.012 \Omega$$

- A través del método reloj-cronómetro se determinó la potencia activa consumida en un instante de tiempo partiendo de las características del contador; este procedimiento fue realizado en el mismo horario e igual cantidad de días en que se realizaron las mediciones a las cuchillas del panel principal del banco de transformadores, en el horario de las 8:00 AM, 10:00 AM, 12:00 PM, 2:00 PM y 4:00 PM. A continuación se implementa el procedimiento.

Información del contador; 1.8 Wh/rev.

Se detectó el tiempo en segundos t (s) que demora en dar 5 revoluciones el platillo rotatorio del contador.

Luego procedemos por regla de tres;

$$1.8 \text{ Wh} \rightarrow r$$

$$X \rightarrow 5r$$

determinamos que;

$$E = 9 \text{ Wh en } 5r$$

$$P = \frac{E}{t} = \frac{9Wh}{t(s)}$$

$$P = \frac{9 * 10^{-3} kWh}{t(s)}$$

$$P = \frac{9 * 10^{-3} kWh}{\frac{t}{3600} h}$$

$$P = \frac{9 * 10^{-3}}{t} * 36 * 10^2 kW$$

$$P = \frac{32.4}{t} kW$$

Esta potencia activa es multiplicada por el coeficiente de transformación que nos brinda el contador el cual es de 80, obteniéndose la potencia real en un instante de tiempo para 5 revoluciones.

$P \rightarrow$ Potencia activa (kW).

E → Energía (Wh).

t → Tiempo (s)

2.3.2 Método de cálculo de la corriente de cortocircuito para la selección del dispositivo de protección (breaker).

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 las líneas de distribución que alimenta el área docente del ISMM. Para la determinación de esta magnitud 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:

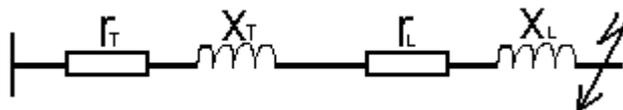


Fig. 2.5 Esquema del tramo de una fase cortocircuitada en un punto de la línea.

r_T → Resistencia del transformador.

r_L → Resistencia de la línea.

x_T → Reactancia del transformador.

x_L → Reactancia de la línea.

Estas magnitudes son obtenidas por datos de chapa 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:

$$S_b = \sqrt{3} * V_b * I_b$$

$$Z_b = \frac{V_b \text{ fase}}{I_b \text{ fase}}$$

Procedemos a determinar:

$$r_{T^*} = \frac{r_T}{Z_B} \quad ; \quad x_{T^*} = \frac{x_R}{Z_B} \quad ; \quad r_{L^*} = \frac{r_L}{Z_B} \quad ; \quad x_{L^*} = \frac{l_L}{Z_B}$$

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

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

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

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

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 Potencia aparente base.

Z_b Impedancia base.

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

r_{L^*}, x_{L^*} Resistencia y reactancia de la línea expresadas en unidad relativa, referidas a las condiciones bases.

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

Z_{cc} Impedancia de cortocircuito.

I_{cc} Corriente de cortocircuito.

2.4 Análisis para la selección de conductores eléctricos.

Para la selección de conductores eléctricos en el circuito de distribución del área docente del ISMM, partimos desde un análisis profundo acerca de las condiciones actuales de los conductores eléctricos de cada área en particular correspondiente a este bloque. Se realizaron consideraciones cuidadosas sobre la base de varios de los requisitos involucrados a la hora de realizar una correcta selección, los cuales son representados a continuación:

- El tamaño del conductor debe proporcionar suficiente capacidad para conducir la corriente máxima que demanda la carga.

- Los conductores para una carga permanente conectada deben seleccionarse con un 25% más de capacidad que la corriente máxima que demanda la carga.
“Una carga permanente conectada o de servicio continuo es una carga que está conectada a la red energética durante tres (3) horas o más.”
- El tipo de aislamiento de los conductores de un circuito debe ser el adecuado a las condiciones ambientales y a la elevación de la temperatura dentro de sus límites de operación.
- El tamaño, sección o calibre de los conductores deben de guardar la caída de tensión y las pérdidas de potencia hasta el punto final de suministro.
- El conductor seleccionado tiene que tener capacidad para soportar el calentamiento de los cortocircuitos.

Método de cálculo del calibre del conductor.

Para determinar el método ideal de cálculo del calibre de los conductores necesarios para el área docente del ISMM, realizamos un análisis profundo de cada método independiente y considerando las magnitudes de trabajo que se tenían a disposición, determinamos un método mediante el cual se determinará la sección del calibre de los conductores que en caso de que sea necesario la sustitución de un conductor por no cumplir con las condiciones de trabajo requeridas. A continuación se exponen los métodos que se tenían a disposición (Capítulo 1 epígrafe 1.4.1), y se identifica el método escogido.

Métodos:

- Por calentamiento.
- Por caída de voltaje.
- Por estabilidad térmica a la corriente de cortocircuito.

Método escogido:

Se determinó la selección del calibre del conductor atendiendo a las condiciones de calentamiento, y este método se encuentra argumentado en el Capítulo 1 epígrafe 1.4.2.

2.5 Actualización de planos eléctricos.

La actualización de los planos del sistema eléctrico del área docente del ISMM se llevó a cabo en los edificios docentes 1 y 2, ya que por su importancia fue necesario priorizar

estos bloques debido a que constituyen las áreas de mayor actividad laboral y docente educativa del centro.

Para el proyecto de actualización de los planos eléctricos, fue necesario recurrir a los planos originales existentes desde la creación del ISMM, los cuales constan desde el año 1978 y se encuentran localizados en el departamento de Economía y Servicio. Estos planos fueron estudiados y analizados, lo cual nos permitió entender la grabe situación en que se encontraban y determinar un procedimiento para llevar a cabo la actualización de los mismos. Este procedimiento es representado a continuación:

- Se realizaron exploraciones al sistema eléctrico de alimentación actual perteneciente a cada uno de los edificios.
- En el edificio 1 que corresponde al bloque de aulas, biblioteca, sala de literatura, centro de redes y oficinas, se realizó un levantamiento en el que se determinaron los principales componentes del circuito eléctrico. Este levantamiento abarcó además al edificio 2.
- En el edificio 1 se le realizaron pruebas a todos los paneles del circuito de alimentación.
- Se detectó área por área de cada edificio las modificaciones en la infraestructura actuales existentes.
- Mediante el programa AutoCAD 2000 fueron diseñados los planos actualizados del edificio 1 y parte del 2.

Los símbolos eléctricos empleados en el diseño de actualización de los planos son normas cubanas y estos planos se encuentran localizados en los anexos 19, 20 ,21, 22, 23 , 24 , 25, 26 27, 28, 29, 30, 31 y 32.

2.5.1 Esquemas de los principales paneles eléctricos del edificio 1.

Para la representación esquemática actual de los principales paneles del edificio 1 se le dio una forma determinada a las cuchillas y los breakers que van a configurar el esquema de los paneles. Estas simbologías son representadas a continuación a través de la fig.2.5.

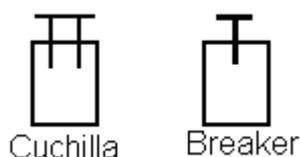


Fig. 2.5 Esquema de cuchilla y breaker.

Detalles:

Los (P₁-#) son los paneles localizados en el ala izquierda del edificio.

Los (P₂-#) son los paneles localizados en el ala derecha del edificio.

#: Número de la planta.

(Se debe poseer de frente al edificio para identificar a qué ala se refiere.)

A continuación se representa de forma esquemática la configuración del panel principal mediante la fig.2.6.

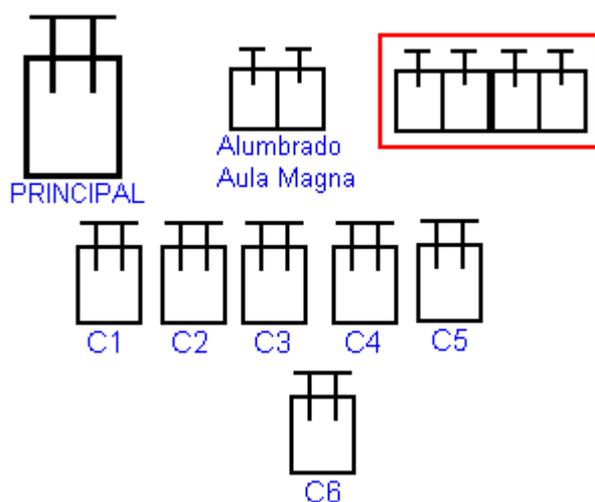


Fig. 2.6 Panel principal del edificio 1.

Los breakers del cuadro () se encuentran conectados y se desconoce a que circuito pertenecen.

Cada cuchilla es general de un área específica.

La cuchilla principal desconecta el ala derecha del edificio.

C1 → Piso 1

C2 → Piso 2 (P₂₋₂)

C3 → Piso 3 (P₂₋₃)

C4 → Piso 4 (P₂₋₄)

C5 → Pasillo y parque

C6 → Aires acondicionados

P₂₋₂ (panel 2 del piso 2)

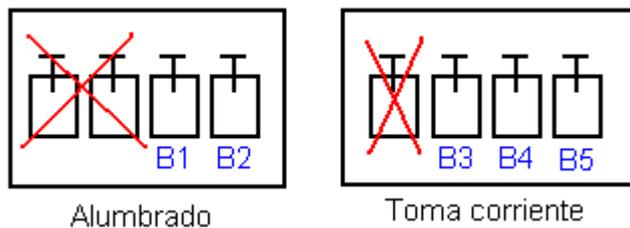


Fig. 2.7 Esquema del panel P₂₋₂.

Los breakers marcados con una (X) se encuentran en mal estado, por lo que no están conectados al circuito.

Alumbrado

B1 → (PCC, Sindicato, Vicerrectoría)

B2 → (Desde Secretaría hasta Rectoría)

Toma Corriente

B3 → (Desde Oficina de Atención a Estudiantes Extranjeros hasta Vicerrectoría)

B4 → (Secretaría)

B5 → (Desde Cuadros hasta Rectoría)

P₂₋₃ Se encuentra conectado directamente con la cuchilla **C3** del panel principal.

P₂₋₄ Se encuentra conectado directamente con la cuchilla **C4** del panel principal.

P₁₋₂ (Panel 1 del piso 2)

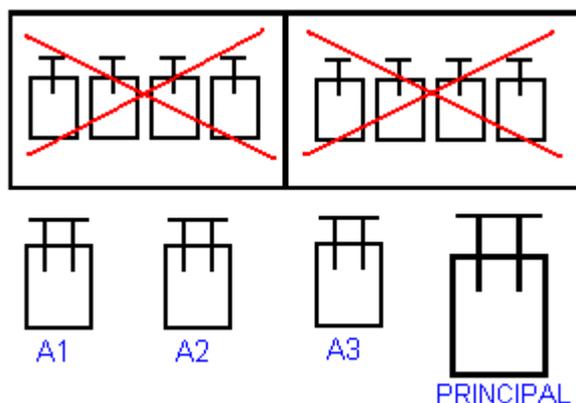


Fig. 2.8 Esquema del panel P₁₋₂.

Los breakers marcados con una (X) no se encuentran conectados.

A1 → Piso 2

A2 → Piso 4

A3 → Piso 3 (Soldada no se puede manipular).

Principal → A1, A2, A3

P₁₋₃

Se encuentra conectado directamente a la cuchilla **A3** del **P₁₋₂**.

P₁₋₄ (Panel 1 del piso 4)

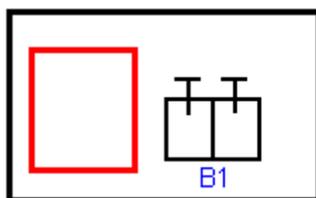


Fig. 2.9 Esquema del panel **P₁₋₄**.

En el interior del cuadro () existen conexiones directas a la cuchilla **A2** del **P₁₋₂**.

B1 → Alumbrado

2.6 Conclusiones del Capítulo 2.

En este capítulo se describe detalladamente la metodología utilizada para la realización de la investigación. Se exponen los equipos, materiales y métodos de mediciones empleados, así como la caracterización actual en que se encuentran los objetos de estudio en el área docente como lo son, banco de transformadores, paneles eléctricos, planos y circuitos eléctricos.

Además de explicarse la técnica experimental que fue empleada para llegar a los resultados que se ha propuesto en el objetivo del trabajo.

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

3.1 Evaluación del comportamiento de las potencias y del consumo de energía eléctrica en el área docente.

3.1.1 Establecimiento del balance de potencias para el área docente.

3.2 Determinación de la potencia instalada en el área docente.

3.3 Análisis del comportamiento de las corrientes y tensiones en el sistema.

3.3.1 Análisis del comportamiento de las tensiones de líneas en el área docente.

3.4 Esquema monolineal del sistema.

3.5 Propuesta de medida para mejorar el servicio del banco docente.

3.5.1 Sustitución del transformador que ofrece servicio monofásico por otro de mayor capacidad.

3.6 Propuestas de medidas para garantizar una explotación más racional del sistema, con el ahorro energético.

3.7 Valoración Económica.

3.8 Conclusiones del Capítulo 3.

3.1 Evaluación del comportamiento de las potencias y del consumo de energía eléctrica en el área docente.

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación y los análisis correspondientes a cada tarea realizada con el propósito de dar respuesta a los objetivos propuestos en la realización del trabajo.

Partiendo de los resultados correspondientes a cada tabla o gráfico obtenido, nos permite tener un conocimiento más profundo sobre los problemas relacionados con la determinación del comportamiento del consumo de energía eléctrica en el área docente, sobre lo cual está basado todo el análisis que se relaciona a continuación.

Tabla 3.1, muestra el consumo de energía histórico del banco de transformadores del área docente, correspondiente a los meses del año 2005 hasta el mes de mayo del 2008, además del consumo total por año.

Tabla 3.1 Consumo de energía histórico del banco de transformadores del área docente.

Consumo de energía mensual (MWh) por año				
Mes	2005	2006	2007	2008
Enero	16.88	13.76	16.56	13.04
Febrero	18	17.76	19.52	19.92
Marzo	18.32	16.32	18.24	18.56
Abril	21.12	19.04	18.88	20.88
Mayo	20.48	17.76	20.8	17.04
Junio	22.48	18.88	29.52	
Julio	15.68	14.56	23.36	
Agosto	3.6	4.72	3.44	
Septiembre	16	12.48	19.28	
Octubre	18.48	17.28	23.76	
Noviembre	19.12	21.44	21.76	
Diciembre	18.4	18.72	19.2	
Consumo Total	208.56	192.72	234.32	89.44

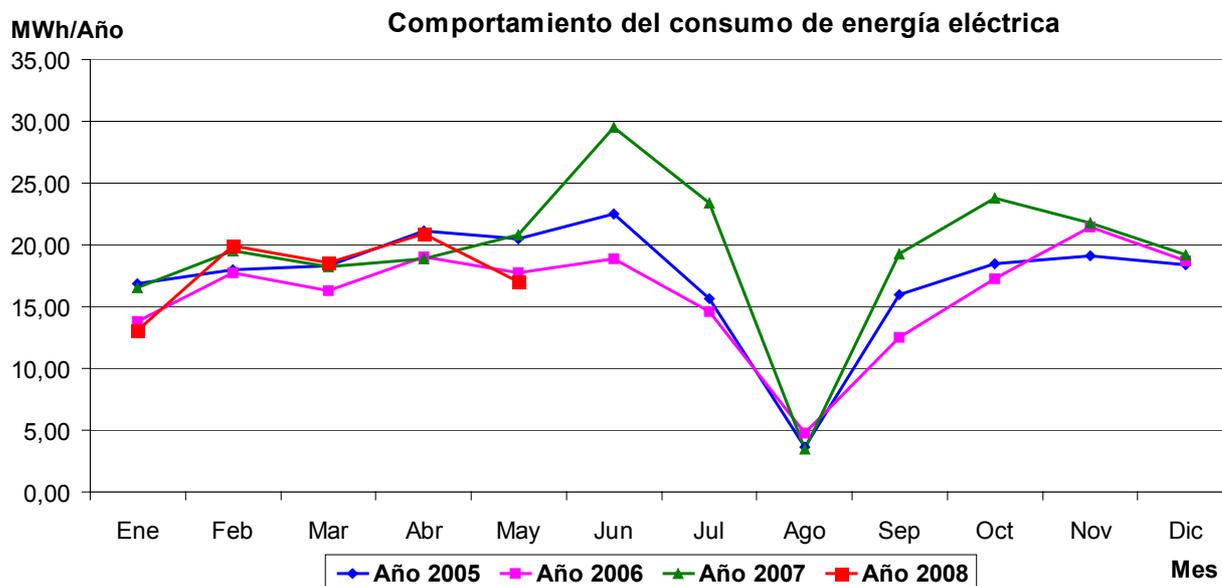


Fig.3.1 Comportamiento del consumo de energía eléctrica por mes en los últimos años en el área docente.

Mediante la representación de la fig.3.1 nos permite obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del consumo de energía eléctrica por meses en los últimos años en el área docente del ISMM

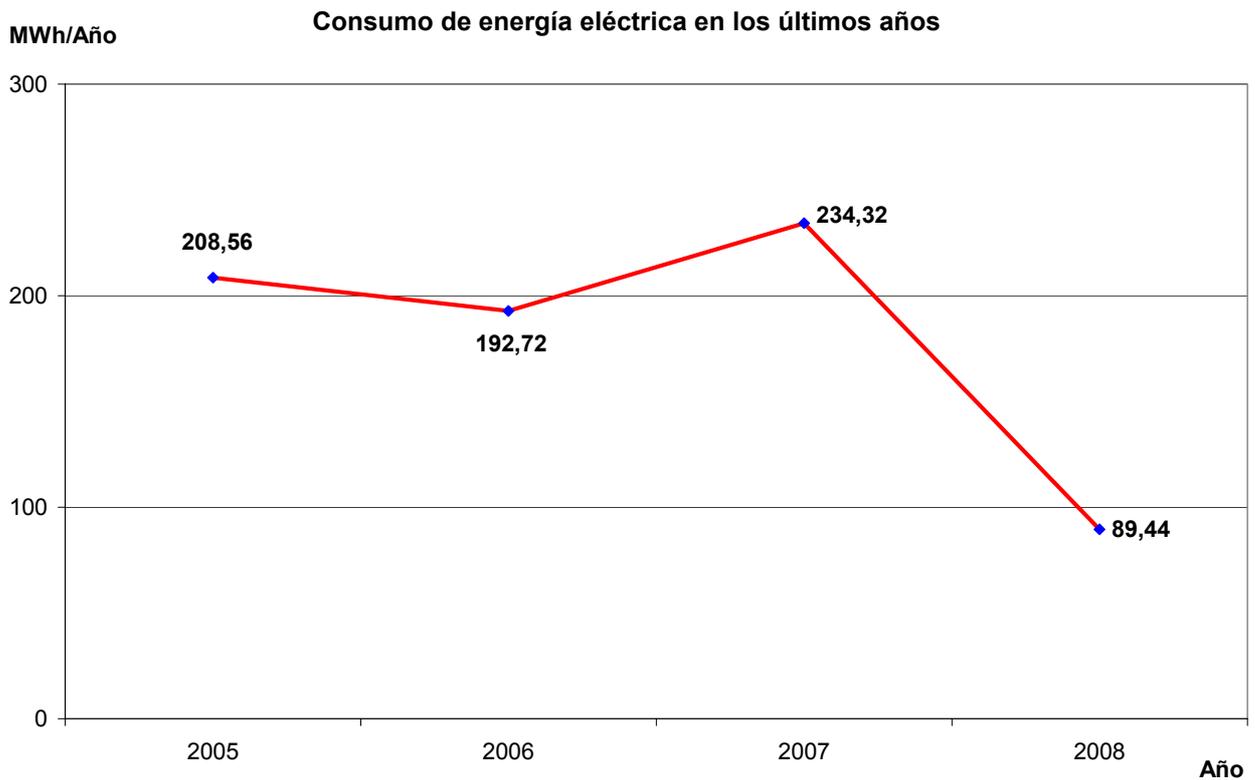


Fig.3.2 Comportamiento del consumo de energía eléctrica en el área docente por años.

La fig.3.2 muestra el comportamiento del consumo de energía eléctrica del área docente desde el año 2005 hasta un estimado del año 2008. Se manifiesta como hubo un aumento del consumo en el año 2007 respecto a los años anteriores.

A continuación es mostrada la tabla 3.2, la cual está constituida por el consumo diario de energía eléctrica del banco de transformadores del bloque docente en el año 2008 desde el 17/1/08 hasta el 31/5/08. Estos consumos fueron determinados a partir de las lecturas tomadas en el horario de 11:00 AM a 11:30 AM todos los días de la semana.

La tabla muestra los días de pase por el día de las madres, y se pudo determinar que en este período hubo un consumo de 2880 kWh.

Tabla 3.2 Consumo de energía eléctrica diario del banco de transformadores del área docente en el año 2008.

Consumo diario de energía (kWh)						
Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
1		720	480	800	400	
2		560	480	720	800	
3		400	720	880	480	
4		720	880	640	400	
5		720	800	400	800	
6		800	800	400	720	
7		720	800	880	Pase	
8		640	400	880		
9		400	400	720		
10		560	480	880		
11		800	720	640		
12		880	720	400		
13		720	880	320		
14		560	720	1040		880
15		400	560	560		800
16		560	400	720		800
17	800	640	720	720	400	
18	640	800	800	960	320	
19	640	720	720	480	800	
20	480	800	720	320	800	
21	880	720	800	720	800	
22	640	640	480	800	800	
23	1040	480	480	720	720	
24	880	400	800	560	400	
25	720	640	560	560	480	
26	480	960	480	480	880	
27	320	720	400	320	800	
28	720	720	720	720	880	
29	720	720	560	800	800	
30	720		400	800	880	
31	640		880			

La tabla 3.3 recoge los datos del consumo de energía eléctrica mensual registrada en el contador de energía que pertenece al banco de transformadores del bloque docente, correspondientes a los meses de enero hasta mayo del año 2008. Este consumo es detectado a partir de la lectura realizada por la empresa eléctrica alrededor de los días 25 de cada mes. En la tabla se detecta el mes de enero como el de menor consumo, y el mes de abril como el de mayor consumo hasta el momento en el año 2008.

Tabla 3.3 Consumo de energía eléctrica por mes en el año 2008.

Mes	Consumo (kWh)
Enero	13040
Febrero	19920
Marzo	18560
Abril	20880
Mayo	17040

La tabla 3.4 muestra el análisis estadístico del comportamiento del consumo del banco docente en los primeros cinco meses del año 2008.

Tabla 3.4 Datos estadísticos del comportamiento de banco docente en los primeros cinco meses del año 2008.

Valor medio	17888 kWh
Desviación Estándar	3072.2 kWh
Máx	20880 kWh
Mín	13040 kWh
Número de la muestra (n)	5
Error máx de estimación	2688.2 kWh
Intervalo de consumo	(20576.2 - 15199.8) kWh
Nivel de confianza	95%

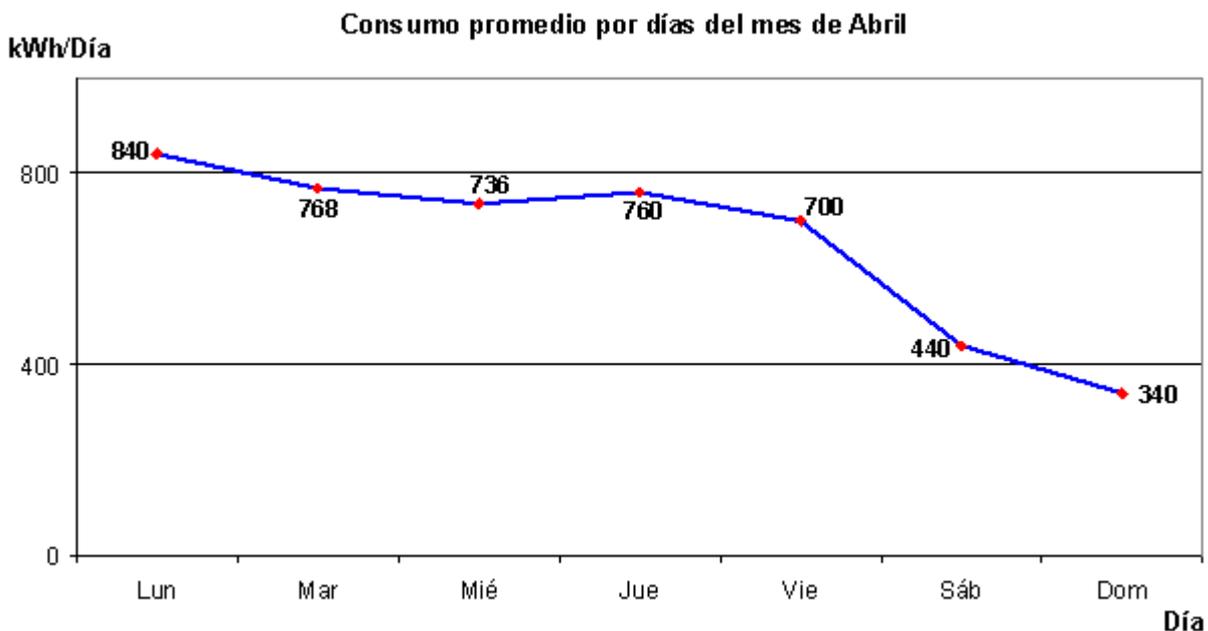


Fig. 3.3 Comportamiento del consumo promedio de energía eléctrica por días del mes de Abril.

A través de la fig.3.3 es mostrado el comportamiento del consumo promedio de energía eléctrica por días de la semana del mes de mayor consumo (Abril).

La tabla 3.5 recoge los datos del consumo de energía eléctrica por días de la semana (kWh) en el banco de transformadores del área docente, correspondiente a los días medidos desde el mes de enero hasta el mes de mayo. Se representa además el promedio total por días de la semana.

Tabla 3. 5 Consumo de energía eléctrica por días de la semana (kWh) en el área docente año 2008.

Mes	Día	Lun	Día	Mar	Día	Miér	Día	Juev	Día	Vier	Día	Sáb	Día	Dom
Enero	21	880	22	640	23	1040	17	800	18	640	19	640	20	480
	28	720	29	720	30	720	24	880	25	720	26	480	27	320
							31	640						
Febrero	4	720	5	720	6	800	7	720	1	720	2	560	3	400
	11	800	12	880	13	720	14	560	8	640	9	400	10	560
	18	800	19	720	20	800	21	720	15	400	16	560	17	640
	25	640	26	960	27	720	28	720	22	640	23	480	24	400
									29	720				
Marzo	3	720	4	880	5	800	6	800	7	800	1	480	2	480
	10	480	11	720	12	720	13	880	14	720	8	400	9	400
	17	720	18	800	19	720	20	720	21	800	15	560	16	400
	24	800	25	560	26	480	27	400	28	720	22	480	23	480
	31	880									29	560	30	400
Abril	7	880	1	800	2	720	3	880	4	640	5	400	6	400
	14	1040	8	880	9	720	10	880	11	640	12	400	13	320
	21	720	15	560	16	720	17	720	18	960	19	480	20	320
	28	720	22	800	23	720	24	560	25	560	26	480	27	320
			29	800	30	800								
Mayo	5	800	6	720	14	880	1	400	2	800	3	480	4	400
	19	800	20	800	21	800	15	800	16	800	17	400	18	320
	26	880	27	800	28	880	22	800	23	720	24	400	25	480
							29	800	30	880				
Promedio		778		764		764		720		712		480		418

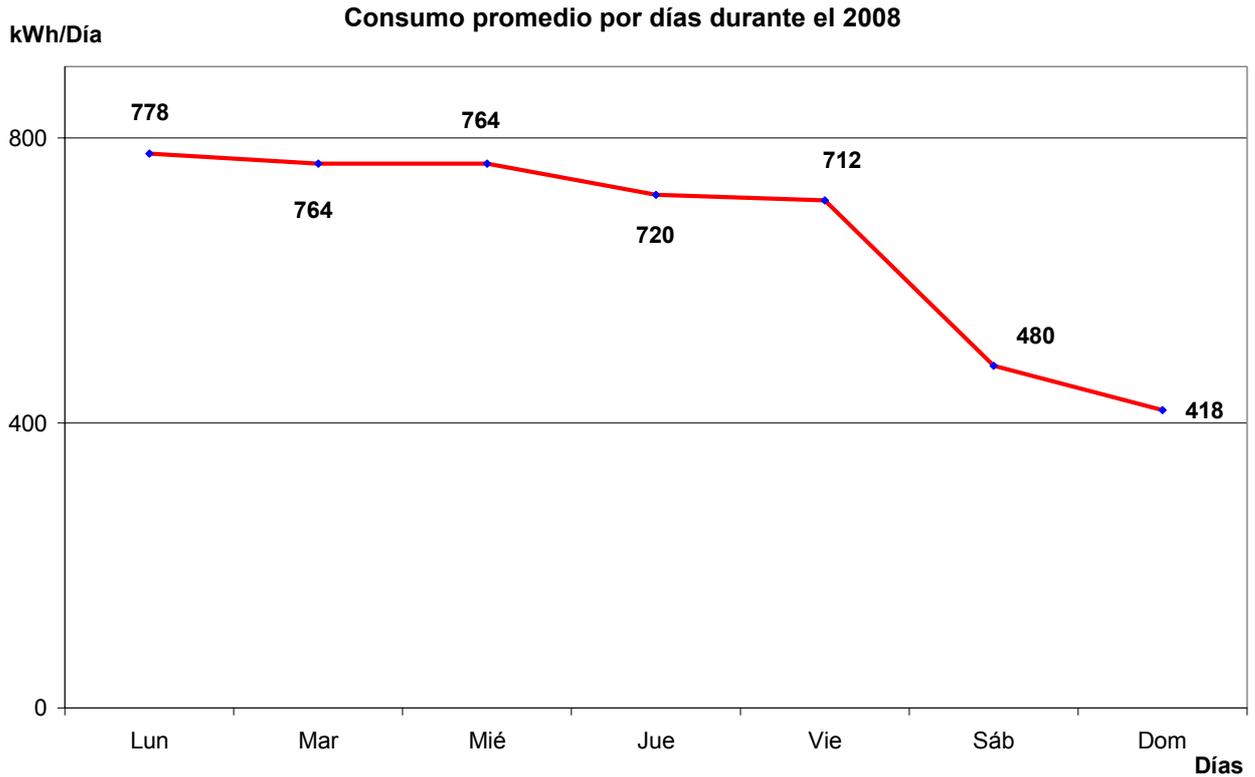


Fig. 3.4 Comportamiento del consumo de energía eléctrica diario durante 2008.

Con la representación de la fig.3.4 se muestra el gráfico del comportamiento diario promedio de los días de la semana, a partir de las mediciones tomadas en el banco de transformadores del bloque docente, desde el mes de enero hasta mayo del 2008. Este gráfico demuestra que los lunes son los días de mayor consumo generalmente en el área docente del ISMM.

La tabla 3.6 mostrada a continuación recoge los consumos (kWh) promedios por días de la semana, correspondiente al mes de mayor consumo (Abril), y del valor medio hasta el mes de Mayo del 2008.

Tabla 3.6 Consumo promedio por día de la semana del mes de Abril y del 2008.

Mes	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
Abril	840	768	736	760	700	440	340
Media	778	764	764	720	712	480	418

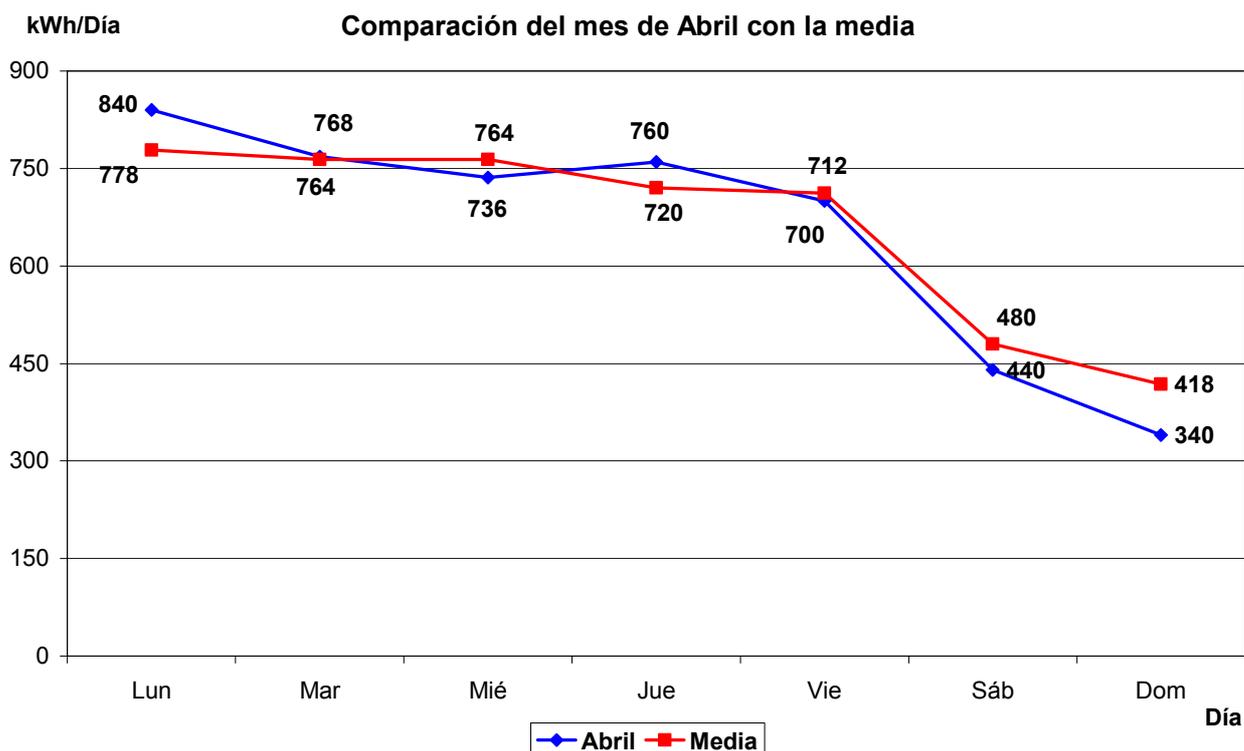


Fig .3.5 Comportamiento del consumo promedio de los días de la semana del mes de Abril con respecto a los del 2008.

Con la fig.3.5 se muestra el comportamiento del consumo por días de la semana del mes de Abril con respecto al valor medio consumido hasta el mes de Mayo del 2008. Queda determinado que los lunes, martes y miércoles del mes de Abril existieron consumos de energía eléctrica por encima de los valores medios, manteniéndose los demás días por debajo de estos valores.

Mediante la tabla 3.7 se muestran los valores del consumo promedio por hora determinado desde las 8:00 h hasta las 18:00 h de lunes a viernes, debido a que estos son los días en que se desarrollan mayormente las actividades laborales en el área docente.

Tabla 3.7 Demanda horaria del banco.

t (h)	Consumo promedio (kWh)
8:00 – 10:00	78,2
10:00 – 12:00	112,6
12:00 – 14:00	90,4
14:00 – 16:00	120,8
16:00 – 18:00	88,2

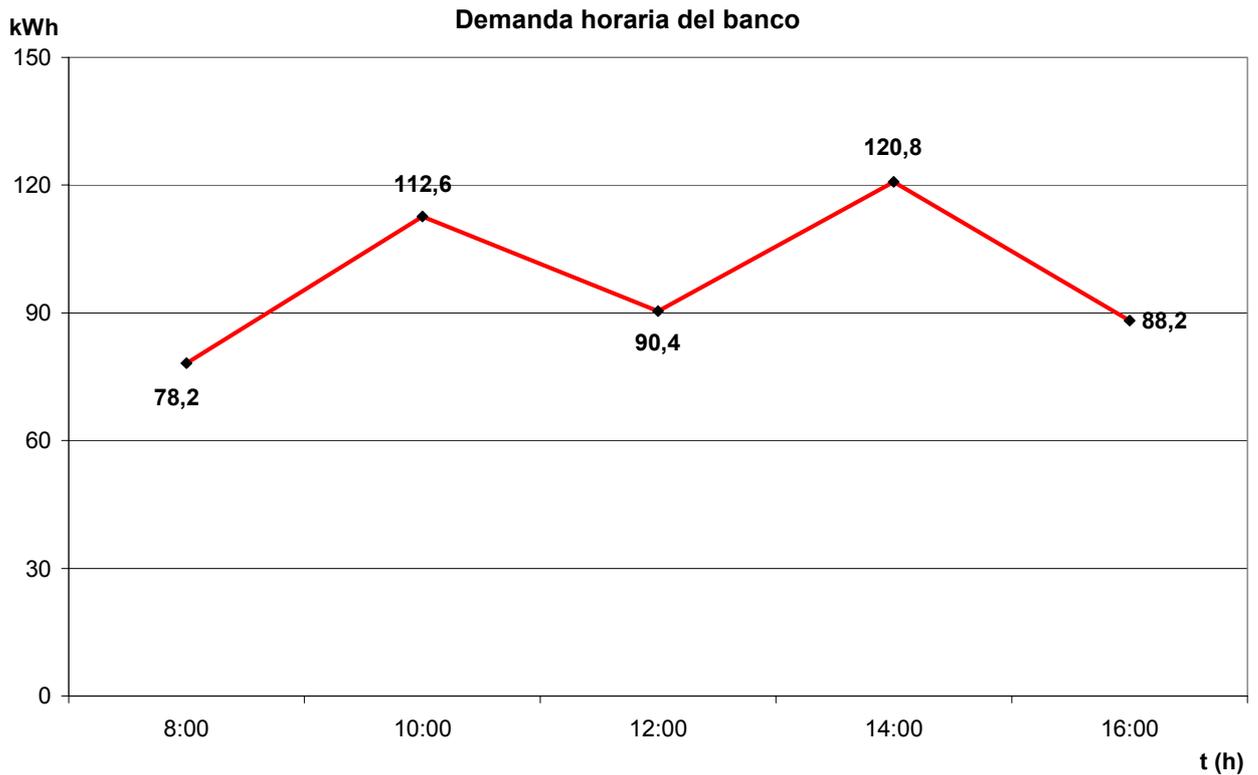


Fig. 3.6 Comportamiento del consumo promedio por horas laborales en el área docente.

La fig.3.6 muestra el comportamiento de la demanda horaria promedio del área docente en horarios laborales de lunes a viernes. Se pudo determinar a través del gráfico que el horario de menor consumo es el de las 8:00 horas. A las 14:00 horas se nota un incremento del consumo en el área, esto se debe a que están conectadas el mayor número de cargas en el área, fundamentalmente los acondicionadores de aire, lámparas y computadoras.

La tabla 3.8 representada a continuación recoge los datos del comportamiento promedio por hora diario de la potencia activa, reactiva y aparente del transformador que brinda servicio monofásico en el banco de transformadores del área docente. Estos valores son estimados para horarios laborales desde las 8:00 h hasta las 16:00 h de (lunes a viernes).

Tabla 3.8 Demanda horaria promedio del transformador que brinda servicio monofásico en el área Docente.

t (h)	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)
8.00	39	33	52
10.00	56	41	70
12.00	45	42	62
14.00	60	42	74
16.00	44	41	61

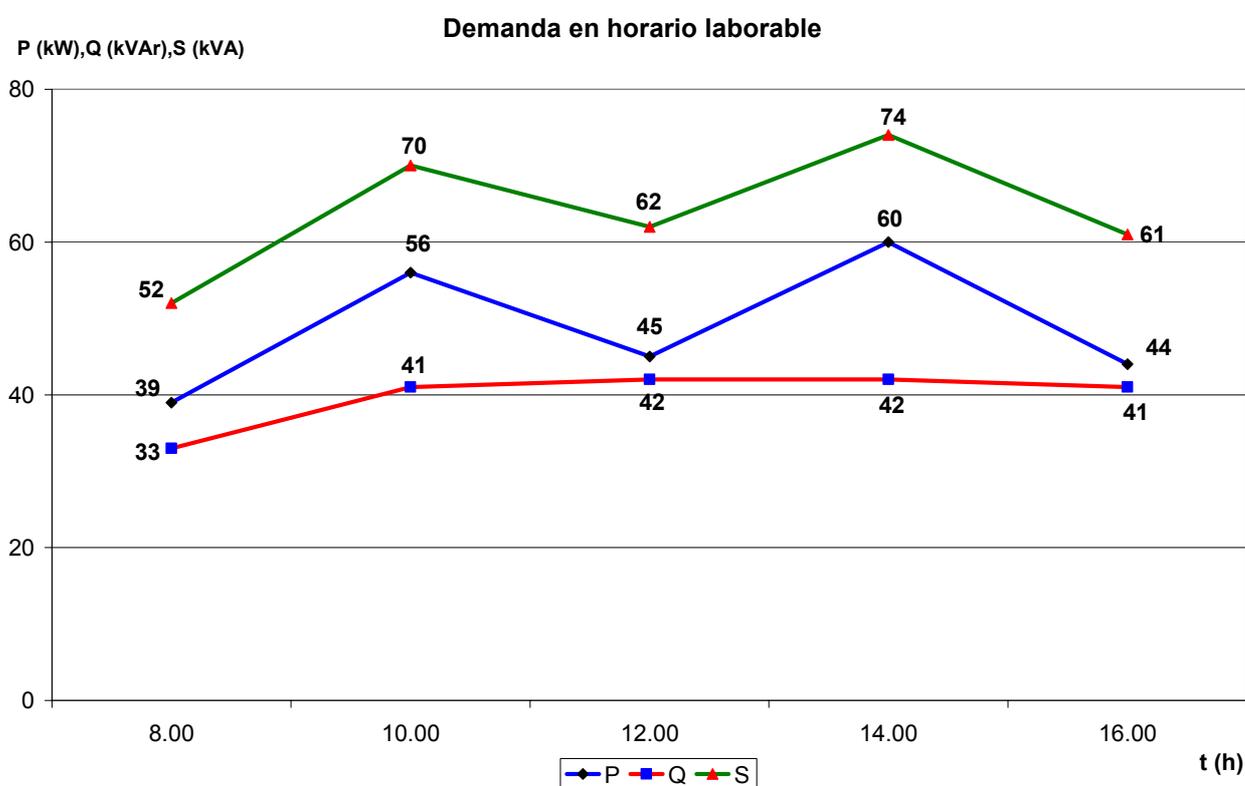


Fig.3.7 Comportamiento de las potencias en horario laborable en el área docente de lunes a viernes.

La fig.3.7 muestra el gráfico del comportamiento de los valores medios por hora de las potencias que se obtuvo a partir del análisis de las mediciones de (lunes a viernes) en el área docente del ISMM desde las 8:00 h hasta las 16:00 h. En este se observa claramente el estado de sobrecarga al que está expuesto el transformador que brinda el servicio monofásico en el banco de transformadores del área docente, permaneciendo como promedio de 10 h trabajando en estado de sobrecarga. Esto es determinado teniendo en cuenta que el trabajo efectivo de un transformador es

aproximadamente el 75 % de su potencia nominal, por lo que el transformador que brinda servicio monofásico es de 50 kVA, para lo que debía trabajar por debajo de los 37.5 kVA.

A continuación se representa la fig.3.8 a través de la cual se muestra la gráfica del comportamiento de las sobrecargas por horas de (lunes a viernes) en el horario desde las 8:00 h hasta las 16:00 h del transformador que ofrece el servicio monofásico en el área docente.

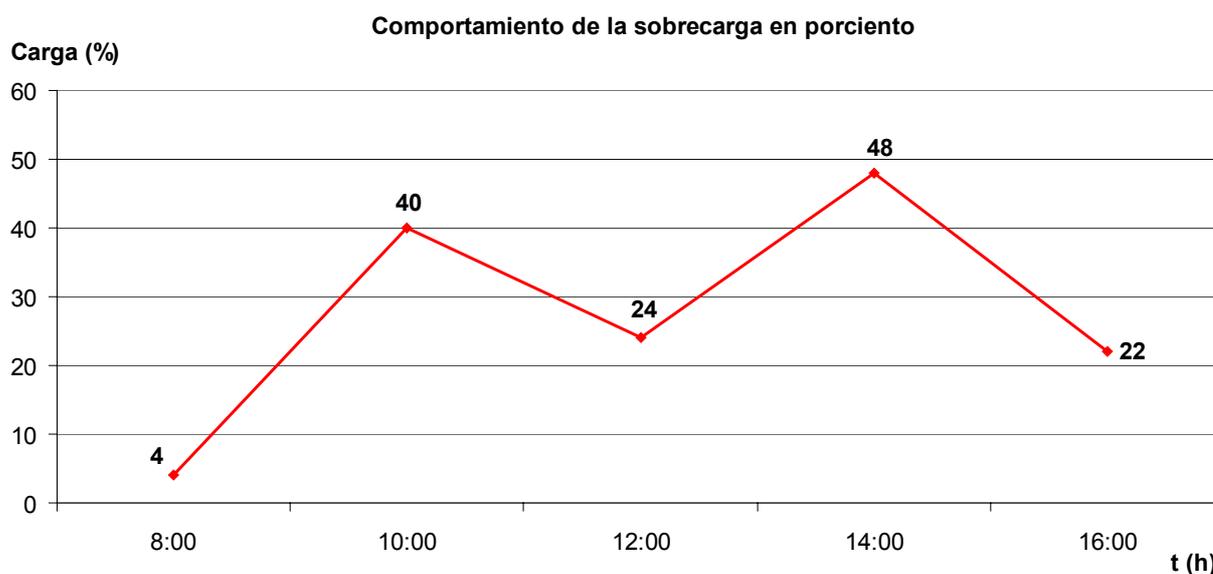


Fig.3.8 Comportamiento por hora de la sobrecarga expresada en por ciento del transformador que brinda servicio monofásico en el área docente.

El transformador que brinda servicio trifásico es de 50 kVA y se encuentra subcargado todo el tiempo, esto es demostrado partiendo de los resultados de las mediciones, los cuales muestran que la fase A pertenece al transformador que brinda servicio trifásico y todo el tiempo permanece con valores de carga no significativos (anexo 1).

La tabla 3.9 representada a continuación recoge los datos del valor medio de la potencia activa, reactiva y aparente de los edificios 1, 2, 3 y 4 correspondientes al área docente del ISMM. Estos valores son estimados para horarios laborables de lunes a viernes, en el horario desde las 8:00 h hasta las 16:00 h.

Edificio 1 (Rectoría).

Edificio 2 (Metalurgia-Electromecánica).

Edificio 3 (Minas).

Edificio 4 (Geología).

Tabla 3.9 Comportamiento de las potencias medias por hora en los edificios 1, 2, 3 y 4 del área docente del ISMM.

Área	t (h)	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)
Edificio 1	8.00	10	8	13
	10.00	13	10	16
	12.00	11	9	14
	14.00	16	11	19
	16.00	11	10	15
Edificio 2	8.00	18	14	23
	10.00	20	15	25
	12.00	17	15	23
	14.00	20	14	24
	16.00	18	16	24
Edificio 3	8.00	5	4	7
	10.00	14	11	18
	12.00	10	9	13
	14.00	15	13	20
	16.00	9	8	12
Edificio 4	8.00	6	5	8
	10.00	9	6	11
	12.00	7	6	9
	14.00	9	7	11
	16.00	6	5	8

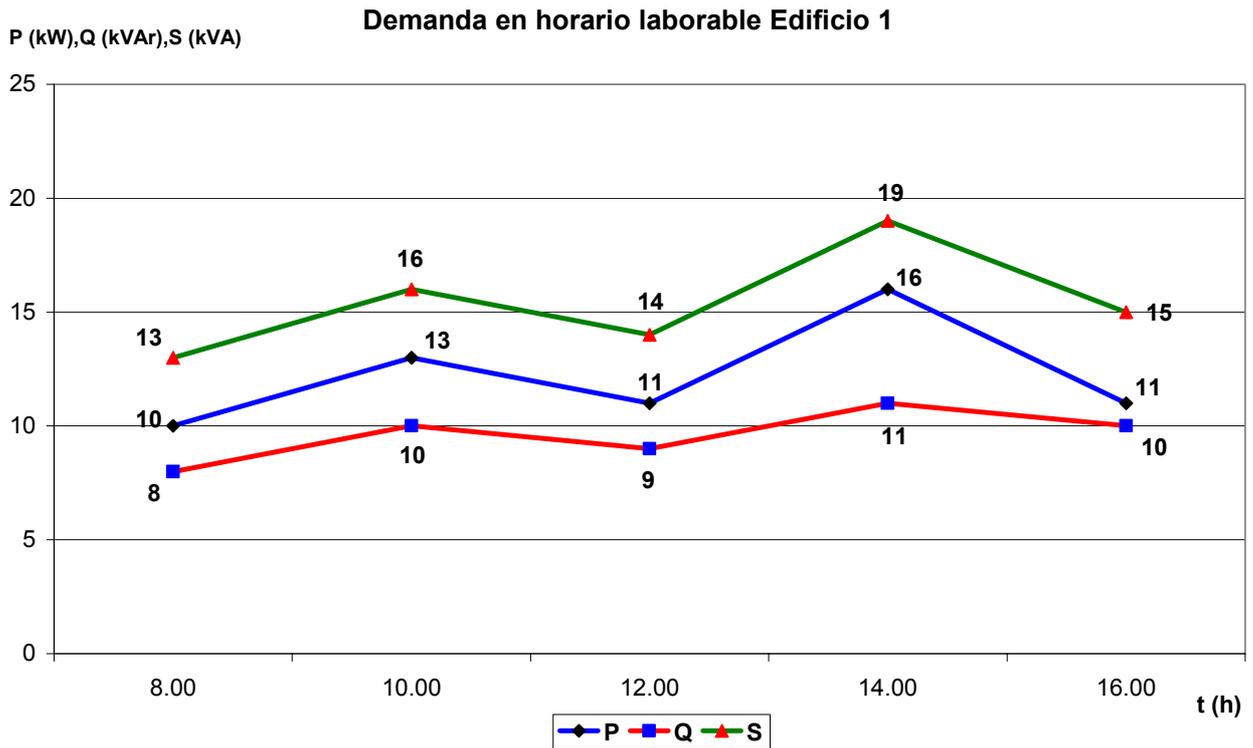


Fig.3.9 Comportamiento de las potencias en horario laborable en el edificio 1.

La fig.3.9 muestran los gráficos de potencias promedio por horas laborables que se obtuvo a partir del análisis de las mediciones que se realizaron en el edificios 1. Partiendo de que la potencia activa media en horario laborable en un día de trabajo para el edificio 1 es de 12 kW, se determinó a través del gráfico que a las 14.00 horas es el tiempo de mayor consumo de potencia activa del edificio , puesto que es el horario en que se encuentran conectadas las mayores cargas las cuales están constituidas por 92 lámparas (20 W) consumo de 1.84 kW, 168 lámparas (40 W) consumo de 6.72 kW, 37 computadoras consumo de 11.1 kW y 14 acondicionadores de aire consumo de 13.08 kW. En el horario de las 12.00 horas se muestra una disminución del consumo, debido a que es el horario de almuerzo en el centro y se encuentran principalmente los acondicionadores de aire apagados, siendo esta una de las medidas que lleva a cabo el Instituto para el ahorro de energía eléctrica. El horario de las 16.00 horas se nota una disminución del consumo debido a que es el horario en que comienzan a finalizar las actividades laborales del día.

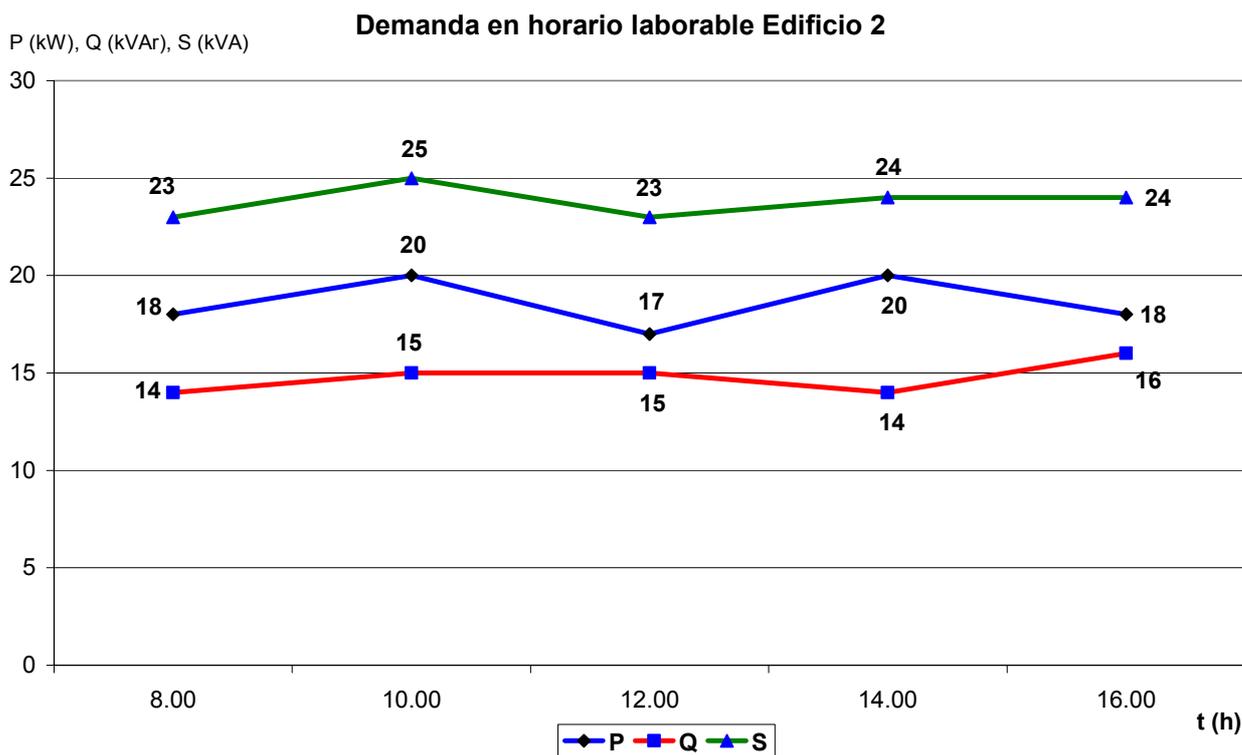


Fig.3.10 Comportamiento de las potencias en horario laborable en el edificio 2.

Con la fig.3.10 se muestra el gráfico de valores medios de potencias por horas laborables que se obtuvo a partir del análisis de las mediciones realizadas al edificio 2. Este gráfico nos permitió determinar la potencia activa media en horario laborable en un día de trabajo consumida por este edificio, la cual es de 18.6 kW. El mayor comportamiento del consumo de potencia activa que se puede observar a través del gráfico, el cual está determinado a las 10:00 y 14:00 horas, tiempo en que se encuentran conectadas la mayor parte de las cargas que demandan consumo en el edificio 2 además de sumársele las cargas del laboratorio central, centro de redes y la sala de literatura (locales del edificio 1) y en su conjunto están determinadas por, 44 lámparas (20 W) consumo de 0.88 kW, 153 lámparas (40 W) consumo de 6.12 kW, 69 computadoras consumo de 20.7 kW, 1 consola consumo de 6.322 kW y 12 acondicionadores de aire de consumo de 11.2 kW. A las 12.00 horas se muestra una disminución del consumo debido, a que es el horario de almuerzo y se encuentran desconectados gran parte de los acondicionadores de aire, computadoras los cuales son unas de las mayores cargas del centro. A las 16.00 horas se nota una disminución del consumo lo cual se debe que es el horario en que comienzan a finalizar las actividades laborales del Instituto.

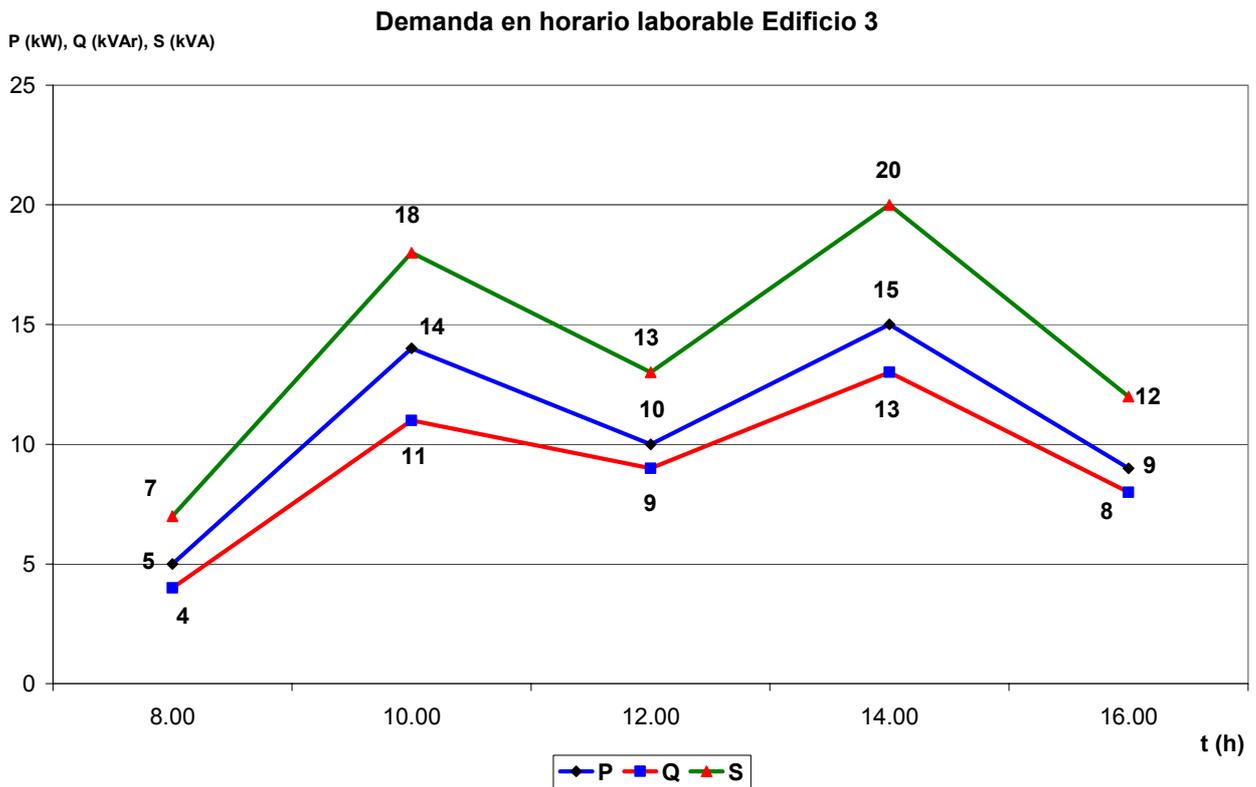


Fig.3.11 Comportamiento de las potencias en horario laborable en el edificio 3.

La fig.3.11 nos permite obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad de los valores medios del comportamiento de las potencias en el edificio 3, pudiéndose determinar el valor de la potencia activa media en horario laborable en un día de trabajo demandado por el edificio, la cual es de 10.6 kW. Como se muestra en la figura a las 14:00 horas es el tiempo de mayor demanda en el edificio, donde se conectan el mayor número de cargas a la red, estas son fundamentalmente los acondicionadores de aire, lámparas y computadoras. A las 16:00 h, es notable la disminución del comportamiento de las potencias, y esto se debe a que en este horario comienzan a culminar las actividades laborales del día.

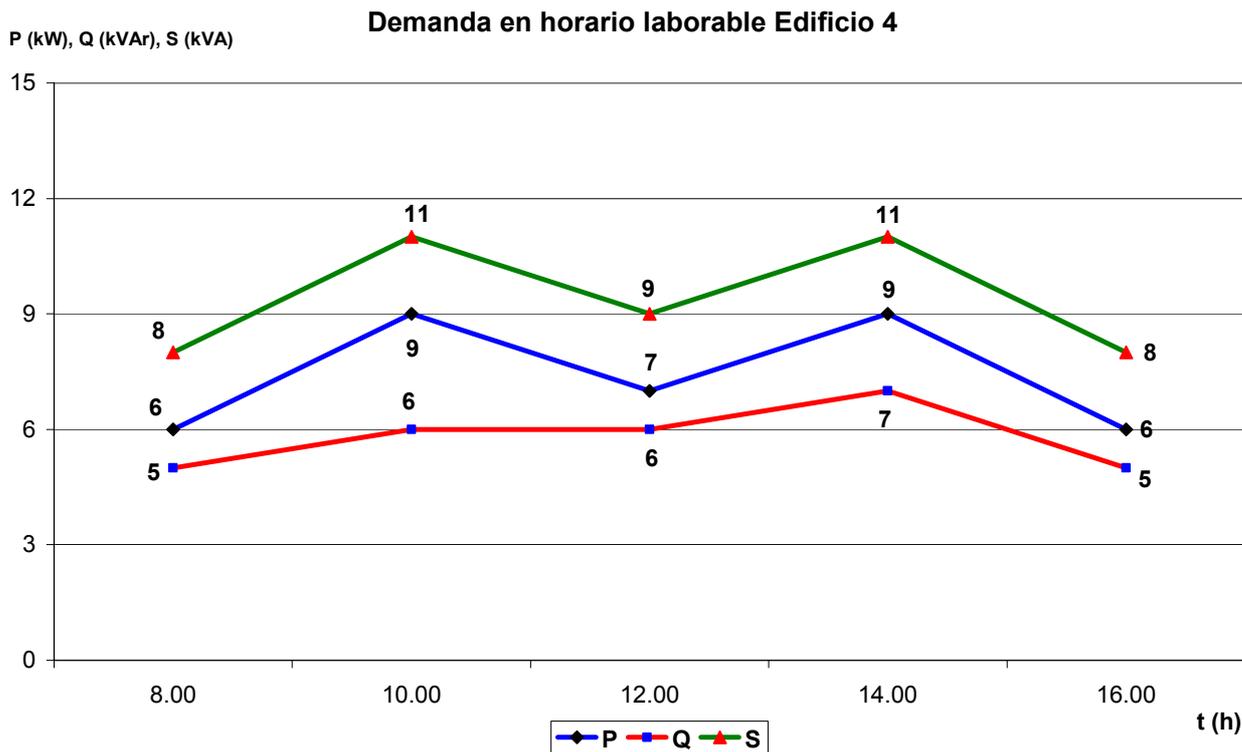


Fig.3.12 Comportamiento de las potencias en horario laborable en el edificio 4.

A través de la fig.3.12 mostrada a continuación nos permite observar el comportamiento medio de las potencias en el edificio 4, lo cual nos permite analizar el comportamiento de la carga en los horarios laborables en un día de trabajo. Este edificio presenta un consumo medio de potencia activa de 7.4 kW, valor que fue determinado a partir del gráfico. En la figura podemos observar que a las 10:00 y 14:00 horas son los tiempos en que se conectan el mayor número de cargas, permitiéndonos establecer los horarios antes mencionados como los de mayor consumo.

3.1.1 Establecimiento del balance de potencias para el área docente.

La tabla 3.10 que se muestra a continuación nos permite observar los valores medios por hora de la potencia activa, reactiva y aparente diario que demanda el área docente del ISMM. Se debe tener en cuenta que estos valores fueron determinados para los horarios laborables de (lunes a viernes), en los horarios de las 8:00 h hasta las 18:00 h.

Tabla 3.10 Valores promedios del comportamiento diario por hora de las potencias en horario laborable de (lunes a viernes) en el área docente del ISMM.

Área	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)
T 1	49	40	63
Edificio 1	12	10	15
Edificio 2	19	15	24
Edificio 3	11	9	14
Edificio 4	7	6	10

A partir de los valores de la potencia activa de la tabla 3.10 determinamos el consumo promedio diario por edificios de (lunes a viernes), sábados y domingos. Además del consumo promedio total mensual del área docente y sus respectivos edificios.

A continuación es mostrado el procedimiento, en el cual solo se trabajó con los valores de la potencia activa, valores por los cuales la empresa eléctrica determina el costo del consumo de energía eléctrica mensual al ISMM.

Determinación del consumo promedio diario de cada edificio del área docente de (lunes a viernes).

La tabla 3.11 muestra los valores medios y por cientos de la potencia activa por hora general y por edificios, en los horarios laborales de (lunes a viernes) en el horario comprendido entre las 8.00 h hasta las 18:00 h en el área docente.

Tabla 3. 11 Valores medios y por cientos de potencia activa.

Área	P (kW)	%
Docente	49	100
Edificio 1	12	24,5
Edificio 2	19	38,8
Edificio 3	11	22,5
Edificio 4	7	14,3

Mediante la tabla 3.12 son mostrados los datos estadísticos a partir de los consumos medios diarios de lunes a viernes del área docente (fig. 3.4).

Tabla 3. 12 Datos estadísticos del consumo medio diario de lunes a viernes.

Valor medio	758,7 kWh
Desviación Estándar	106,6 kWh
Máx	1040 kWh
Mín	480 kWh
Número de la muestra (n)	89
Error máx de estimación	22,1 kWh

El valor medio del consumo de energía en el banco docente en un período de 24 h de (lunes a viernes) se encuentra en el intervalo de (721.9 a 772) kWh con un nivel de confianza del 95 %.

A continuación son utilizados los valores determinados en las tablas 3.11 y 3.12:

758.7 kWh → Valor medio del consumo diario de (lunes a viernes) en el área docente en un período de 24 h.

490 kWh → Valor medio general del consumo diario de energía en el horario laborable de las 8:00 h hasta las 16:00 h de (lunes a viernes).

268.7 kWh → Valor medio general del consumo de energía desde las 18:00 h hasta las 8:00 h en el área docente.

A través de la tabla 3.13 se muestran los consumos de energía medios y por cientos en el horario laborable desde las 8:00 h hasta las 18:00 h.

Tabla 3. 13 Valores medios y por cientos del consumo de energía en horario laborable.

Área	E (kWh)	%
Docente	490	100
Edificio 1	120	24,5
Edificio 2	186	38,8
Edificio 3	110	22,5
Edificio 4	74	14,3

La tabla 3.14 muestra los valores promedios y por cientos del consumo de energía eléctrica desde las 18:00 h hasta las 8:00 h después del horario laborable.

Tabla 3.14 Valores promedios y por cientos del consumo de energía eléctrica después del horario laborable.

Área	E (kWh)	%
Docente	268.7	100
Edificio 1	65.83	24,5
Edificio 2	104.26	38,8
Edificio 3	60.46	22,5
Edificio 4	38.4	14,3

A partir de los valores medios del consumo de energía eléctrica correspondiente a las tablas 3.12 y 3.13, fue determinado el consumo diario promedio de (lunes a viernes) de cada edificio del área docente. Para esto se deben sumar los valores del consumo de energía eléctrica medio de cada edificio, mostrados en las tablas 3.14 y 3.14, obteniendo así los siguientes resultados:

Edificio 1 → 185.83 kWh

Edificio 2 → 290.26 kWh

Edificio 3 → 170.46 kWh

Edificio 4 → 112.4 kWh

Determinación del consumo medio de energía eléctrica los sábados y domingos para cada edificio del área docente.

Para el análisis del consumo medio de los sábados y domingos de cada edificio del área docente, nos referimos bajo las mismas condiciones mostradas anteriormente para la determinación del consumo promedio diario de (lunes a viernes) para cada edificio.

La tabla 3.15 muestra los valores medios y por cientos de la potencia activa por hora en los horarios comprendidos entre las 8:00 h hasta las 16:00 h de cada sábado y domingo, para cada edificio del área docente y en general.

Tabla 3.15 Valores medios y por cientos de potencia activa.

Área	P (kW)	%
Sábado		
Docente	26,5	100
Edificio 1	5,4	20,4
Edificio 2	11,8	44,5
Edificio 3	6,3	23,8
Edificio 4	3	11,3
Domingo		
Docente	19,7	100
Edificio 1	5	25,4
Edificio 2	7,6	38,5
Edificio 3	4	20,3
Edificio 4	3,12	15,8

Mediante la tabla 3.16 son mostrados los datos estadísticos a partir de los consumos medios diarios de los sábados y domingos en el área docente (fig. 3.5).

Tabla 3.16 Datos estadísticos del consumo medio de los sábados y domingos.

Sábados	
Valor medio	480 kWh
Desviación Estándar	72,6 kWh
Máx	640 kWh
Mín	400 kWh
Número de la muestra (n)	18
Error máx de estimación	33,5 kWh
Domingos	
Valor medio	417,8 kWh
Desviación Estándar	89,1 kWh
Máx	640 kWh
Mín	320 kWh
Número de la muestra (n)	18
Error máx de estimación	41,2 kWh

Sábados:

El valor medio del consumo de energía eléctrica en el banco docente en un período de 24 h para los sábados se encuentra en el intervalo de (513.5 a 446.5) kWh con un nivel de confianza del 95 %.

A continuación son utilizados los valores determinados en las tablas 3.14 y 3.15 para los sábados:

480 kWh → Valor medio del consumo de energía eléctrica los sábados en el área docente en un período de 24 h.

265 kWh → Valor medio del consumo de energía eléctrica en el horario de las 8:00 h hasta las 18:00 h de los sábados en el área docente.

215 kWh → Valor medio del consumo de energía desde las 18:00 h hasta las 8:00 h los sábados en el área docente.

Domingos:

El valor medio del consumo de energía eléctrica en el banco docente en un período de 24 h para los domingos se encuentra en el intervalo de (459 a 376.6) kWh con un nivel de confianza del 95 %.

A continuación son utilizados los valores determinados en las tablas 3.14 y 3.15 para los domingos:

417.8 kWh → Valor medio del consumo de energía eléctrica los domingos en el área docente en un período de 24 h.

197 kWh → Valor medio del consumo de energía eléctrica en el horario de las 8:00 h hasta las 18:00 h de los domingos en el área docente.

220.8 kWh → Valor medio del consumo de energía desde las 18:00 h hasta las 8:00 h los domingos en el área docente.

La tabla 3.17 muestra los valores medios y por cientos del consumo de energía eléctrica de los sábados y domingos desde las 8:00 h hasta las 18:00 h en el área docente.

Tabla 3.17 Valores promedios y por cientos del consumo de energía eléctrica de los sábados y domingos desde las 8:00 h hasta las 18:00 h.

Área	E (kWh)	%
Sábado		
Docente	215	100
Edificio 1	43,9	20,4
Edificio 2	95,6	44,5
Edificio 3	51,2	23,8
Edificio 4	24,3	11,3
Domingo		
Docente	220.8	100
Edificio 1	56,1	25,4
Edificio 2	85,1	38,5
Edificio 3	44,8	20,3
Edificio 4	34,9	15,8

La tabla 3.18 muestra los valores promedios y por cientos del consumo de energía eléctrica de los sábados y domingos, en las 14 h después de las 18:00 h.

Tabla 3.18 Valores promedios y por cientos del consumo de energía eléctrica los sábados y domingos después de las 18:00 h.

Área	E (kWh)	%
Sábado		
Docente	265	100
Edificio 1	54	20,4
Edificio 2	118	44,5
Edificio 3	63	23,8
Edificio 4	30	11,3
Domingo		
Docente	197	100
Edificio 1	50	25,4
Edificio 2	76	38,5
Edificio 3	40	20,3
Edificio 4	31,2	15,8

A partir de los valores del consumo de energía eléctrica promedio correspondientes a las tablas 3.15 y 3.16, podemos determinar el consumo diario promedio de los sábados y domingos de cada edificio correspondiente al bloque docente. Para esto se deben sumar los valores del consumo de energía eléctrica promedio de cada edificio independientemente para cada día determinado.

La tabla 3.19 muestra los valores del consumo de energía diario promedio de los sábados y domingos por edificios.

Tabla 3.19 Consumo medio diario de los sábados y domingos.

Consumo (kWh)		
Área	Sábado	Domingo
Edificio 1	98	106.1
Edificio 2	213.6	161.1
Edificio 3	114.2	84.8
Edificio 4	54.3	66.1

Determinación del consumo medio de energía eléctrica mensual para cada edificio y el área docente en general.

Para la determinación del consumo medio mensual para cada edificio y el área docente en general, tuvimos como referencia el siguiente análisis:

- A continuación se muestran las características que puede tener los días de un mes de 31 días:

Cantidad de lunes a viernes (23 días)

Cantidad de sábados (4 días)

Cantidad de domingos (4 días)

La tabla 3.20 que se muestra a continuación nos permite observar los valores medios del consumo de energía eléctrica mensual en las distintas áreas del bloque docente.

Tabla 3. 20 Valores medios del consumo de energía mensual por área.

Edificio 1			
Días	Días × E (kWh)	E (kWh)	E (MWh)
L a V	23 × 185.83	4274.09	5.09
S	4 × 98	392	
D	4 × 106,1	424,4	
Edificio 2			
Días	Días × E (kWh)	E (kWh)	E (MWh)
L a V	23 × 290.26	6675.98	8.17478
S	4 × 213,6	854,4	
D	4 × 161,1	644,4	
Edificio 3			
Días	Días × E (kWh)	E (kWh)	E (MWh)
L a V	23 × 170.46	3920.58	4,71658
S	4 × 114,2	456,8	
D	4 × 84,8	339,2	
Edificio 4			
Días	Días × E (kWh)	E (kWh)	E (MWh)
L a V	23 × 112.4	2585.2	3,0668
S	4 × 54,3	217,2	
D	4 × 66,1	264,4	
Consumo promedio mensual del área docente			21.04816

3.2 Determinación de la potencia instalada en el área docente.

En búsqueda de las principales fuentes de consumo en el área docente del ISMM, se llevó a cabo un levantamiento en los edificios 1 y 2, incluyendo además el taller de mecánica, casa de compresores y planta de beneficio.

- Edificio 1 (Rectoría).**Tabla 3. 21 Determinación de la potencia instalada en el edificio 1 del área docente.**

Consumidores	Cantidad	Potencia (kW)
Lámpara (20 W)	92	1.84
Lámpara (40 W)	168	6.72
Computadora	56	14
Televisor	3	0.35
videos	1	0.018
Dispensador de agua	3	0.39
Consola	1	9.1
Acondicionadores de aire	14	13.08
Split	2	0.782
Impresora	14	3.85
Ventiladores	12	0.58
Fricer	3	0.2
Fotocopiadora	1	1.075
Total	354	51.985

- Edificio 2 (Metalurgia-Electromecánica).**Tabla 3. 22 Determinación de la potencia instalada en el edificio 2 del área docente.**

Consumidores	Cantidad	Potencia (kW)
Lámpara (20 W)	44	0.88
Lámpara (40 W)	153	6.12
Computadora	50	12.5
Dispensador de agua	1	0.13
Impresora	4	1.1
Acondicionadores de aire	12	11.2
Ventiladores	5	0.9
Horno 1	1	1.8
Horno 2	1	1.14
Horno Mofla	1	2.75
Motor DC	1	0.15
Motor AC	3	0.45
Pesa	1	0.5
Photometer	1	0.014
Peresistern	1	1.1
Titraton	1	24
Máquina herramienta	1	5.2
Generador	2	26.28
Generador 1	1	19.2
Total	284	113.414

- Casa de compresores.

Tabla 3. 23 Determinación de la potencia instalada en la casa de compresores.

Consumidores	Cantidad	Potencia (kW)
Motores eléctricos	2	37
Total	2	37

- Planta de beneficio.

Tabla 3. 24 Determinación de la potencia instalada en la planta de beneficio.

Consumidores	Cantidad	Potencia (kW)
Lámpara (40 W)	8	0.32
Equipos eléctricos	22	99.50
Total	30	99.82

- Taller de mecánica.

Tabla 3. 25 Determinación de la potencia instalada en el taller de mecánica.

Consumidores	Cantidad	Potencia (kW)
Lámpara (40 W)	2	0.08
Lámp incandescente	1	0.06
Máquinas herramienta	12	62.60
Total	15	62.74

3.3 Análisis del comportamiento de las corrientes y tensiones en el sistema.

El análisis de las corrientes del sistema partiendo de los resultados de las mediciones fue realizado para las cargas monofásicas, debido a que en el tiempo que se realizaron las mismas se pudo observar que la fase (A) que proviene del transformador que brinda servicio trifásico no presentó valores significativos de corriente.

La tabla 3.22 que se describe a continuación muestra las mediciones de las corrientes de fase B y C realizadas a las cuchillas generales 1 y 2 del banco de transformadores del área docente en horarios laborables de lunes a viernes, las cuales alimentan los edificios 1, 2, 3 y 4. Las cuchillas 3 y 4 alimentan a la planta de beneficio y casa de

compresores, y no registraron valores significativos de corriente para tenerlas en cuenta.

Prom i: Valor promedio horario de la corriente a la entrada del interruptor de cuchilla.

Prom f: Valor promedio horario de la corriente en la fase correspondiente.

Tabla 3.26 Mediciones de corrientes en horarios laborables a las cuchillas 1 y 2 del panel principal del banco de transformadores del área docente.

Medición de corriente (A)										
Cuchilla 1						Cuchilla 2				
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
Fase B										
L	105	120	101	121	109	140	199	175	192	101
M	112	121	95	126	124	139	206	188	211	181
M	117	132	120	128	128	99	152	161	219	193
J	106	131	123	123	107	161	189	182	203	165
V	111	132	107	115	121	131	220	161	215	161
Prom i	110	127	109	123	118	134	193	173	208	160
Prom f	244	320	282	331	278					
Fase C										
L	88	105	95	113	84	97	182	137	152	79
M	92	111	82	118	109	79	173	141	171	143
M	79	114	110	115	108	90	151	140	179	160
J	100	125	121	132	97	127	147	139	154	127
V	97	118	100	102	105	103	163	121	176	139
Prom i	81	115	102	116	101	99	163	136	166	130
Prom f	180	278	238	282	231					

La tabla 3.23 nos permite observar los valores promedios de corrientes (A) a partir del procesamiento de las mediciones en la tabla 3.14, para las fases B y C a la salida del banco de transformadores del área docente en horarios laborables de lunes a viernes.

Tabla 3. 27 Comportamiento horario promedio de las corrientes a la salida del transformador.

Fase	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
B	244	320	282	331	278
C	180	278	238	282	231

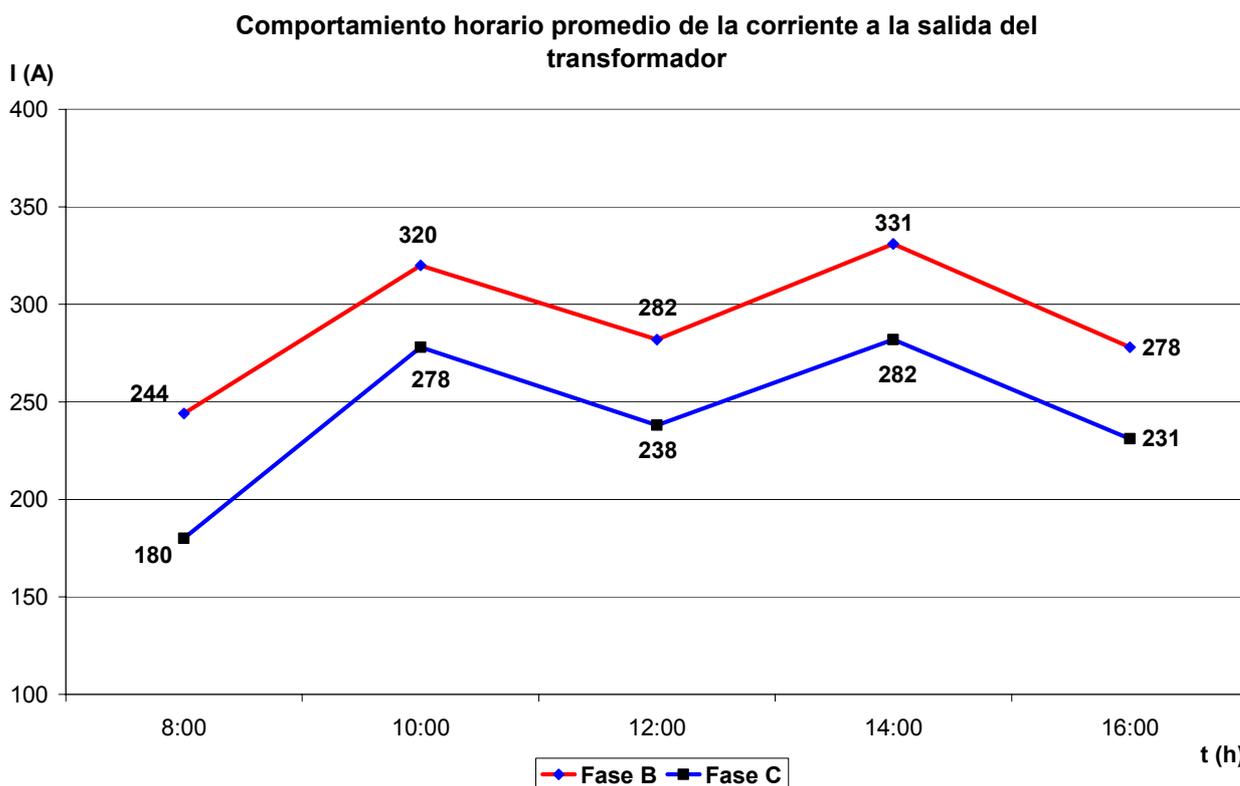


Fig.3.13 Comportamiento promedio de las corrientes en horarios laborales a la salida del banco de transformadores del área docente.

La fig.3.13 nos permite obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad de los valores promedios de las corrientes en las fases B y C en los distintos horarios a la salida del banco de transformadores del área docente. Partiendo de que el valor de la corriente nominal que pasa por las fases a la salida de los transformadores es de 208.3 A, el gráfico demuestra elevados índices de corrientes y una asimetría entre las líneas de salida del banco. Los valores promedios de corrientes de ambas fases permanecen todo el tiempo por encima de los límites nominales para lo cual debe trabajar correctamente el banco, excepto a las 8:00 horas en que la fase B tiene su menor valor medio de corriente. Es de consideración observar que a las 10:00 y 14:00 horas que son los horarios de mayor consumo en el área docente, como se muestran los altos picos de corrientes promedio que pasan por ambas fases, especialmente por la fase B que es considerada como la de mayor carga.

A partir de los resultados del gráfico de la fig.3.12 se determinó por orden, el nivel de mayor carga por fase a la salida del transformador:

- 1- Fase B, 2- Fase C, 3- Fase A.

La tabla 3.28 que se muestra a continuación recoge los valores promedios por horas de las mediciones de corriente en las fases B y C en el horario laboral realizado en las cuchillas generales de los paneles principales de los edificios del área docente de ISMM.

Tabla 3. 28 Mediciones de corrientes en las cuchillas principales de los edificios del área docente.

Medición de corriente (A)												
Fase B						Fase C						
Día	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	Día	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	
Edificio 1												
L	55	64	77	86	75	L	55	64	77	86	75	
M	50	58	61	71	44	M	50	58	61	71	44	
M	53	64	54	102	85	M	53	64	54	102	85	
J	77	62	63	67	54	J	77	62	63	67	54	
V	62	102	58	103	62	V	62	102	58	103	62	
Prom	60	70	63	86	64		48	63	55	75	61	
Prom T	69					60						
Edificio 2												
L	101	113	97	89	112	L	78	85	75	109	88	
M	101	111	100	108	101	M	73	85	77	86	66	
M	118	122	113	116	130	M	80	97	95	90	103	
J	103	122	112	103	100	J	89	108	99	97	81	
V	114	103	99	109	113	V	96	97	83	85	89	
Prom	107	114	104	105	111		83	94	86	93	85	
Prom T	108					88						
Edificio 4												
L	26	54	38	53	38	L	15	38	27	32	22	
M	36	48	46	55	45	M	28	40	42	34	30	
M	31	55	43	51	45	M	34	37	27	61	34	
J	43	50	46	61	34	J	33	29	32	42	31	
V	37	53	48	48	42	V	30	31	33	32	27	
Prom	35	52	44	54	41		28	35	32	40	29	
Prom T	45					33						
Edificio 3												
L		51		52		L		71		65		
M		45		46		M		64		72		
M		61		58		M		77		77		
Prom		52		52				71		71		
Prom T	52					71						

Prom: Valor promedio de las corrientes por hora.

Prom T: Valor promedio de las corrientes por hora en la fase correspondiente.

Partiendo de los valores de (**Prom T**) de las corrientes en la tabla 3.28 nos permitió determinar las pérdidas en los alimentadores para cada edificio del área docente. Para la determinación de las pérdidas utilizamos el método argumentado en el capítulo 2 epígrafe 2.2.2.

A través de la tabla 3.29 mostrada a continuación se recogen los valores de las pérdidas en los alimentadores de las fases B y C de las cuchillas generales de los paneles principales de cada edificio del área docente, además de las pérdidas totales por edificio.

Tabla 3. 29 Valores de las pérdidas en los alimentadores y fase en las cuchillas principales de cada edificio del área docente.

Análisis de las pérdidas (W)			
Área	p (fase B)	p (fase C)	p (total)
Edificio 1	45	34	79
Edificio 2	33	22	55
Edificio 3	27	51	78
Edificio 4	24	13	37

3.3.1 Análisis del comportamiento de las tensiones de líneas en el área docente.

La tabla 3.30 que se muestra a continuación recoge los valores promedio del comportamiento de las tensiones en el área docente, los cuales fueron determinados a partir del procesamiento de las mediciones aplicando el software Microsoft Excel.

Tabla 3. 30 Valores mínimos, medios y máximo de las tensiones de línea en los edificios del área docente.

Tensión (línea)	Valor mínimo (V)	Valor medio (V)	Valor máximo (V)
Edificio 1			
Ubc	228,7	236,2	240
Edificio 2			
Uab	231,4	238,5	244,1
Ubc	225,3	238	247,7
Uac	234,5	238,6	243
Edificio 3			
Uab	230	238,3	242,3
Ubc	218,6	236	245,1
Uac	236,1	237	242
Edificio 4			
Uab	236,2	239,5	241,5
Ubc	235	242,7	248,2
Uac	233,8	238,4	243,3

La desviación de tensión para cada edificio es de 3.2 %, lo cual nos dice que las variaciones de tensiones están dentro de los límites permisibles.

3.4 Esquema monolineal del sistema.

Esquema monolineal del sistema:

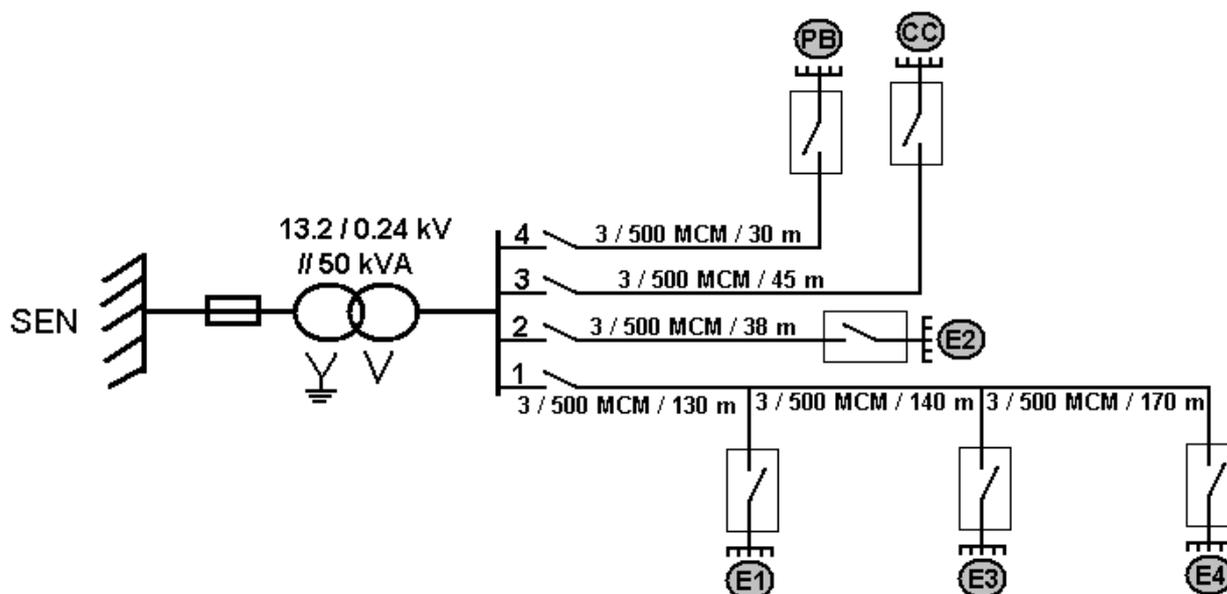


Fig.3.14 Esquema monolineal del área docente del ISMM.

La fig.3.14 muestra el esquema monolineal correspondiente al área docente del ISMM. A través del esquema podemos percibir como se encuentra distribuido el sistema de alimentación a las distintas áreas, con su comienzo desde el sistema electro-energético nacional alimentando al banco de transformadores del área docente, el cual presenta una conexión estrella aterrada-delta abierta y se encuentra protegido por un drop-out y constituido por dos transformadores de 50 kVA cada uno, alimentándose por la línea primaria de 13.2 kV y suministrando por el secundario 0.24 kV. A partir del banco de transformadores son alimentadas las cuchillas generales (1, 2, 3 y 4) correspondientes al panel principal del área docente, las cuales alimentan las siguientes áreas:

Cuchilla 1: Alimenta las cuchillas generales E1 (Rectoría), E3 (Minas) y E4 (Geología), de los paneles principales correspondientes a los respectivos edificios docentes, por los cuales es distribuida la alimentación.

Cuchilla 2: Alimenta la cuchilla general E2 correspondiente al panel principal que alimenta al edificio docente de Metalurgia- Electromecánica.

Cuchilla 3: Alimenta la cuchilla principal (CC) correspondiente a casa de compresores.

Cuchilla 4: Alimenta la cuchilla principal (PB) perteneciente a la planta de beneficio.

Se muestra además el número de conductores, el calibre y la distancia a la que se encuentran cada cuchilla general del panel principal.

3.5 Propuesta de medida para mejorar el servicio del banco docente.

Partiendo del análisis del estado de carga actual del bloque docente, nos referimos a un estudio detallado en vista de evaluar las posibilidades reales de búsqueda de alternativas para mejorar el servicio del banco de transformadores del área docente, partiendo del conocimiento del estado de sobrecarga del transformador que ofrece servicio monofásico. A continuación se hará un análisis de la propuesta de medida para mejorar el servicio del banco.

3. 5.1 Sustitución del transformador que ofrece servicio monofásico por otro de mayor capacidad.

Para llevar a cabo esta medida es necesario conocer el estado de sobrecarga del transformador. Partiendo del análisis del comportamiento medio de la potencia

aparente (fig.3.7), fue determinado que el transformador permanece con un promedio de 10 horas de sobrecargas diarias en el horario laborable, para un valor medio de 64 kVA por hora. Teniendo en cuenta que el trabajo efectivo de un transformador es aproximadamente el 75 % de su potencia nominal, el transformador que brinda servicio monofásico es de 50 kVA, para lo que debía trabajar por debajo de los 37.5 kVA.

Bajo las condiciones de un trabajo efectivo del transformador, este presenta un nivel de sobrecarga de un 71%. A partir de este resultado fue determinado que:

- ❖ Se propone sustituir el transformador de 50 kVA que ofrece servicio monofásico en el área docente por otro de 100 kVA.

Ventajas

- Un eficiente trabajo del banco de transformadores del área docente.
- Se garantiza una reserva de 25 kVA del transformador para posibles aumentos de cargas en el área.

Desventaja

- Persiste el servicio trifásico a través de dos transformadores de diferentes potencias.

Análisis del trabajo del banco de transformadores considerando las cargas trifásicas instaladas en el área.

El transformador de alumbrado lleva toda la carga de alumbrado de 110V, la carga monofásica de 240 V más el 58% de la carga trifásica y el transformador de fuerza el 42% de la carga trifásica.

El estado de carga total del banco docente sustituyendo el transformador de servicio monofásico por uno de 100 kVA es de 127.5 kVA.

La potencia aparente trifásica de los equipos de 220 V instalada en el área docente, representa aproximadamente 110 kVA. Considerando que estos equipos son utilizados escasamente, analizaremos el 45.5 % (50 kVA) de la potencia trifásica instalada trabajando en conjunto a los 64 kVA de sobrecarga del transformador de servicio

monofásico en el horario laborable desde las 8:00 h hasta las 16:00 h, suponiendo que se encuentra instalado el transformador de 100 kVA. A partir de este análisis fueron obtenidos los siguientes resultados:

- El transformador del servicio trifásico trabajaría con una carga promedio de 21 kVA.
- El transformador de alumbrado trabajaría con una carga promedio de 93 kVA, quedando una reserva de capacidad del transformador de 7 kVA.

3.6 Propuestas de medidas para garantizar una explotación más racional del sistema, con el ahorro energético.

Si existiera una adecuada planificación para el mantenimiento del sistema eléctrico en el área docente del ISMM, no estaríamos inmersos a dar soluciones inmediatas con tan pocos recursos. Partiendo de este análisis a continuación son mostradas las distintas propuestas de medidas para garantizar una explotación más eficiente del sistema eléctrico.

- 1) Que se lleve a cabo la propuesta de medida para mejorar el servicio del banco de transformadores del área docente.
- 2) Cambiar todas las cuchillas del panel general del área docente, y de los paneles eléctricos principales de cada edificio por dispositivos de protección automático (breaker).
- 3) Remodelación de todos los paneles eléctricos del área docente.
- 4) Conexión de contadores de energía en los paneles principales de cada edificio del área docente, con el fin de racionalizar el consumo de energía eléctrica por área.
- 5) El circuito de alimentación de la biblioteca, sala de literatura, laboratorio central y centro de redes, proviene del edificio 2 (Facultad Metalurgia Electromecánica); se propone el cambio del circuito de alimentación de estos locales para el edificio 1 (Rectoría), con el propósito de liberar la sobrecarga excesiva en el edificio 2 y poder llevar a cabo la propuesta anterior.
- 6) Establecer periódicamente el control de la carga instalada en general y por edificios en función de la capacidad del banco de transformadores del área docente.
- 7) Eliminar los salideros y las tendederas hidráulicas, los cuales están deteriorando gravemente el cableado de los edificios.
- 8) Apagar los monitores y ordenadores cuando no se estén utilizando.

- 9) Utilizar racionalmente el alumbrado en los locales, laboratorios y pasillos del área docente.

3.7 Valoración Económica.

Es necesario realizar un estudio económico para dar solución a los problemas existentes en el sistema eléctrico del área docente. Analizando la propuesta de cambiar todas las cuchillas del panel general del área docente y de los paneles principales de cada edificio, por dispositivos de protección automáticos (breakers), se realizó un estudio y análisis de selección óptima, de modo que se determinaron las características técnicas establecidas para una operación eficiente de estos dispositivos.

La tabla 3.31 representada a continuación muestra los tipos de dispositivos de protección (breakers) con sus determinadas características y precios, existentes actualmente en el mercado interno.

Tabla 3. 31 Precios de los dispositivos de protección (breakers).

In (A)	Costo (CUC)	Costo (CUC)	Polos
320	773	436,34	3
250	507,08	128,21	3
200	456	259,37	3
160	190,4	114,29	3
125	144,45	82,68	3
100	129,81	74,16	3
80	116,56	70,04	3
63	111,62	60,13	3
40	96,29	54,96	3
32	15,88	8,54	2

Mediante la tabla 3.32 son representadas las características de los breakers seleccionados para el área docente del ISMM, así como el costo general en CUC y CUP.

Tabla 3. 32 Características y costos de los (breakers) seleccionados para las distintas áreas.

Panel	Cuchilla		Propuesta (Breaker)					
	In (A)	Cant	In (A)	Icc (A)	Scs (kVA)	P	Costo (CUC)	Costo (CUP)
General	-	1	320	550	130	3	773	436,34
	-	1	250	550	130	3	507,08	128,21
	-	1	160	550	130	3	190,4	114,29
	-	1	100	550	130	3	129,81	74,16
Edif 1	200	1	200	550	130	3	456	259,37
	60	4	100	550	130	3	519,24	296,64
	30	2	63	550	130	3	223,24	120,26
Edif 2	750	1	250	550	130	3	507,08	128,21
	200	6	160	550	130	3	1142,4	685,74
	100	5	63	550	130	3	1298,1	741,6
	60	4						
	30	1						
Edif 3	-	1	160	550	130	3	190,4	114,29
	400	2	100	550	130	3	519,24	296,64
	200	2						
	100	1	63	550	130	3	1227,82	661,43
	60	10						
	30	1						
	15	7	32	550	130	2	111,16	59,78
Edif 4	400	1	160	550	130	3	190,4	114,29
	200	2	100	550	130	3	259,62	148,32
	100	6	63	550	130	3	781,34	420,91
	60	1						
	30	4						
40	4	40	550	130	3	385,16	219,84	
Costo T							9507.78	5075.28

3.8 Conclusiones del Capítulo 3.

En este capítulo se definieron los siguientes resultados:

- Se evaluaron el comportamiento de las potencias y del consumo de energía eléctrica de cada edificio y en general, permitiéndonos establecer el balance de potencia para cada área del bloque docente del ISMM.
- Se realizó el levantamiento de la potencia instalada en el edificio 1 y 2, taller de mecánica, casa de compresores y planta de beneficio.
- Fue analizado el comportamiento de las corrientes y tensiones en cada edificio y en general correspondiente al bloque docente.
- Se determinó el esquema monolineal del sistema correspondiente al bloque docente.
- Definimos la propuesta de medida para mejorar el servicio del banco de transformadores del área docente, la que consiste en sustituir el transformador que ofrece el servicio monofásico (50 kVA) por otro de mayor capacidad (100 kVA).
- Se plantean unas series de medidas en vista de garantizar una explotación más racional del sistema eléctrico del área docente, con un consiente ahorro energético.
- Definimos la valoración económica de la propuesta de cambiar todas las cuchillas del panel general del área docente y de los paneles principales de cada edificio, por dispositivos de protección automáticos (breakers), la cual tiene un costo de 9507.78 CUC más 5075.28 CUP.

Conclusiones Generales

- 1) Se determinó la potencia activa instalada en los edificios 1 (Rectoría) y 2 (Metalurgia–Electromecánica) correspondientes al área docente, donde 52 kW pertenecen al edificio 1, y 113.4 kW al edificio 2. Además del valor de la potencia aparente trifásica de los equipos de 220 V instalados en el área docente, representada por el valor de 110 kVA.
- 2) Fueron actualizados los planos del sistema eléctrico del edificio 1 y 2 que constan del año 1978, donde se presentaron todas las modificaciones en la infraestructura y en el sistema eléctrico actual.
- 3) Del análisis del sistema se determinó que el panel general del área docente y los paneles principales de cada edificio están técnicamente en estado crítico y requieren sustitución, así mismo se identificó en el edificio 1 a través de que interruptor de cuchilla son alimentada cada área o local.
- 4) Se actualizó el esquema monolineal (no existía) del sistema de suministros eléctrico del área docente del ISMM.
- 5) Se determinó que el mes de abril es el de mayor consumo en lo que va de año en el 2008 con 20,88 MWh, y el mes de enero el de menor consumo con 13,04 MWh. El consumo medio por día para el área docente, de lunes a viernes es de 747.6 kWh/día, los sábados 480 kWh y los domingos 418 kWh.
- 6) Como resultado del balance de potencia se determinó el consumo medio de energía eléctrica diario para cada edificio, obteniéndose que de lunes a viernes el edificio 1 consume 185.83 kWh por día, edificio 2 consume 290.26 kWh, edificio 3 consume 170.46 kWh y el edificio 4 consume 112.4 kWh. Los sábados y los domingos el edificio 1 consume 98 kWh y 106.1 kWh respectivamente, edificio 2 consume 213.6 kWh y 161.1 kWh, edificio 3 consume 114.2 kWh y 84.8 kWh, y el edificio 4 consume 54.3 kWh y 66.1 kWh.
- 7) Se determinó que existe un marcado desbalance entre las corrientes de líneas a la salida del transformador, y que las fases B y C presentan valores altos de corrientes (hasta 331 A) en horarios laborales, mientras que la fase A, está totalmente descargada.
- 8) Estimamos el comportamiento de la sobrecarga (%) por hora de lunes a viernes en el horario laborable desde las 8:00 h hasta las 16:0 h en el transformador del

servicio monofásico en el área docente, donde se registraron valores hasta 48 % de sobrecarga (74 kVA), cuando la capacidad del transformador es de 50 kVA.

Recomendaciones

1. Poner en práctica la propuesta de sustituir en el banco de transformadores del bloque docente al transformador que brinda servicio monofásico por otro de mayor capacidad.
2. Terminar la actualización de los planos del sistema eléctrico del edificio 2 (Metalurgia – Electromecánica).
3. Realizar el levantamiento energético general del sistema de suministro eléctrico en los edificios 3 (Minas) y 4 (Geología) del área docente, y actualizar los planos del sistema eléctrico.
4. Realizar el análisis y comportamiento del sistema de distribución eléctrico en el área de residencia del ISMM.

Bibliografía

- [1] A. A. Feodorov y Eduardo Rodríguez López. Suministro eléctricos de empresas industriales. Editorial Pueblo y Educación, 1980. 189 p.
- [2] AMADOR MARTINEZ, Esteban. Electrotecnia Básica. Editorial Pueblo y Educación.
- [3] Colectivo de autores. Manual Estándar del Montador Electricista.
- [4] D. GUTIÉRREZ BARRERA, Maikel, OCHOA PEÑA, Maikel. Diagnóstico Energético Ambiental del ISMM. Dr. Secundino Marrero Ramírez (tutor). Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. ANJ, 2005.
- [5] D. LARAMORE, Robert, McPHERSON, George. An introduction to electrical machines an transformers. 315 p.
- [6] ESPINOSA NIEVES, Guillermo. Redes Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1988. 97 p.
- [7] KOSTENCO, M. y PIOTROVSKY, L. Máquinas Eléctricas. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982. 522 p.
- [8] LORENZO MUSTELIER, Arquímedes. Mediciones Eléctricas: Mediciones eléctricas de los parámetros eléctricos. La Habana: ENPES, 1987. 435 p.
- [9] SMOLENSKI, Ivanov. Máquinas Eléctricas.
- [10] PÉREZ LABAÑINO, Idelín. Uso de transformadores monofásicos para el servicio combinado en el bloque docente del ISMM. Ignacio Romero (tutor). Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. ANJ, 2003.
- [11] PÉREZ MUSTELIER, Alex, TORRES NOA, Yácomo. Evaluación del Sistema de Gestión Energética de ISMM y determinación de los indicadores de consumo del portador electricidad y agua. Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. ANJ, 2006.
- [12] VOLDEK, A. I. Máquinas Eléctricas.
- [13] M.I.T, Circuitos magnéticos y Transformadores. Reverté. Buenos Aires, 1981.
Disponible en: < <http://transformadortrifásico.mth> >

Anexo 1: Tabla de las mediciones de corrientes por fases realizadas a las cuchillas del panel general del área Docente.

Hora	Cuchilla 1			Cuchilla 2			Cuchilla 3			Cuchilla 4		
	B	A	C	B	A	C	B	A	C	B	A	C
Lunes 19/5/08												
8:00	0.4	0.2	0.1	104.9	4.7	88.2	139.5	8.7	96.6	4.8	0.2	2.3
10:00	0.3	0.1	0.1	120.1	5.6	105.1	199.3	8.4	181.4	4.8	0.2	2.3
12:00	0.3	0.1	0.1	101.3	4.9	94.8	174.7	7.6	137.2	5	0.2	2.4
14:00	0.3	0.1	0.1	121.1	5.2	112.6	192	8.3	152.3	1.5	0.2	1.4
16:00	0.2	0.1	0.1	109.4	3.8	83.5	100.5	3.7	78.6	1.5	0.2	1.5
Martes 20/5/08												
8:00	0.1	0.2	0.2	111.7	0.7	91.7	139.1	2.2	78.9	1.6	0.7	1.5
10:00	0.3	0.1	0.1	120.6	5.5	111.1	205.5	22.9	172.6	4.6	0.4	6.9
12:00	0.3	0.1	0.2	95.4	4.5	82.4	187.6	8.4	140.7	4.7	0.2	2.3
14:00	0.3	0.1	0.1	126.4	0.8	118.3	211.4	8.6	170.9	4.6	0.2	2.3
16:00	0.3	0.1	0.1	124.3	6.1	108.8	180.9	7.3	143.4	4.6	0.2	2.2
Miércoles 21/5/08												
8:00	0.2	0.2	0.2	116.9	0.8	79.8	99.2	2.9	89.7	0.6	0.3	1.5
10:00	0.3	0.2	0.2	132.2	6.4	114.2	151.7	7.2	151.3	0.7	0.2	1.8
12:00	0.2	0.1	0.1	119.7	4.8	109.8	161.2	6.9	139.6	2.8	0.2	1.8
14:00	0.3	0.1	0.1	128.1	6.2	115.4	219.3	8.8	178.8	2.7	0.1	1.7
16:00	0.3	0.1	0.1	128.2	5.8	107.6	193.1	7.8	160.2	1.5	0.1	1.4
Jueves 22/5/08												
8:00	0.3	0.1	0.1	112.6	5.6	95.6	150	6.7	139	1.5	0.1	1.4
10:00	0.3	0.1	0.1	123	12	108.3	208.2	8.1	158.4	1.5	0.2	2.4
12:00	0.3	0.1	0.1	87.6	4.2	85.7	162	5.7	139.8	1.5	1.8	43.8
14:00	0.3	0.2	0.1	128	6.7	117.8	203	8.2	149.3	1.5	0.2	1.4
16:00	0.2	0.1	0.1	118.5	5.8	98.1	157.4	6.3	116	1.5	0.1	1.4
Viernes 23/5/08												
8:00	0.3	0.2	0.1	110.6	5.8	97.3	131.3	5.2	102.7	1.6	0.2	1.5
10:00	0.3	0.2	0.1	131.7	7.5	117.5	219.5	9	163	2.8	0.2	1.7
12:00	0.3	0.1	0.1	107.1	4.7	100	161	5.5	120.7	1.7	0.2	1.5
14:00	0.3	0.1	0.1	115.4	5.7	102	215.2	9.5	176.4	1.6	0.2	1.4
16:00	0.3	0.1	0.1	121	5.1	105	161	6.2	139	1.6	0.2	1.4
Sábado 24/5/08												
8:00	0.3	0.1	0.1	54.7	2.8	62.3	100.8	4	86	1.7	0.2	1.6
10:00	0.2	0.1	0.1	87.4	4.4	87	100	6	88	2.8	0.2	1.7
12:00	0.2	0.1	0.1	70	3.5	73.7	94	6	73.3	2.8	0.2	1.7
14:00	0.2	0.1	0.1	84	3.5	65.2	80	3	65	1.6	0.2	2.3
16:00	0.2	0.1	0.1	91.2	3.6	65	71	3.7	51.3	1.6	0.1	2.3
Domingo 25/5/08												
8:00	0.2	0.1	0.1	47.2	2	38.5	56.2	3.6	44	1.7	0.1	1.5
10:00	0.3	0.1	0.1	71.2	2.8	46	86.5	3.6	64	2.7	0.2	1.8
12:00	0.3	0.1	0.1	71.2	2.4	42.2	85	3.7	66	2.7	0.2	1.8
14:00	0.3	0.1	0.1	63.5	2.1	37.3	89	3.2	52	2.7	0.2	1.7
16:00	0.3	0.1	0.1	65.3	2	35	93.3	6	51	2.7	0.1	1.7

Anexo 2: Tabla de las mediciones de corrientes por fase y tensiones de línea realizadas a la cuchilla principal del panel general del edificio 1 (Rectoría).

Cuchilla Principal Edificio 1			
Hora	I		V
	B	C	BC
Lunes 19/5/08			
8:00	49.8	44	236.6
10:00	57.9	61.2	234
12:00	60.5	48.7	231
14:00	71.2	63.5	239
16:00	43.6	32.4	235
Martes 20/5/08			
8:00	54.7	46.1	240
10:00	64.1	51.8	238
12:00	76.6	63.7	228.7
14:00	85.6	65	240
16:00	74.8	73	234
Miércoles 21/5/08			
8:00	52.7	42.7	239
10:00	64.3	62.8	236
12:00	53.6	55.8	237
14:00	101.6	93.2	238
16:00	85	80	236
Jueves 22/5/08			
8:00	76.7	58.5	235
10:00	62	54.5	239
12:00	63.3	57.3	241
14:00	66.5	60	238
16:00	53.5	57.5	236
Viernes 23/5/08			
8:00	62.2	48.8	242
10:00	102.2	85.2	239
12:00	57.7	47	239
14:00	103.2	92.3	241
16:00	60	64	243
Sábado 24/5/08			
8:00	33	44.2	238
10:00	35	49.3	240
12:00	22.5	27.4	243
14:00	13.2	23.7	237
16:00	19	21.2	238
Domingo 25/5/08			
8:00	23.6	37	240
10:00	33.2	35.6	239
12:00	22.1	26.2	241
14:00	21	24	240
16:00	19	22.5	238

Anexo 3: Tabla de las mediciones de corrientes por fase y tensiones de línea realizadas a la cuchilla principal del panel general del edificio 2 (Metalurgia-Electromecánica).

Cuchilla Principal Edificio 2						
Hora	I			V		
	B	A	C	AB	AC	BC
Lunes 19/5/08						
8:00	100.8	6.4	72.8	231.4	235.3	238.4
10:00	111	6.9	85	234	236	238
12:00	100.2	6.4	77	239	238	237
14:00	107.5	7.3	85.5	232	221	238
16:00	101	5.8	65.5	235	234	234.5
Martes 20/5/08						
8:00	100.6	0.8	77.9	239	242	238
10:00	113.3	7.3	84.5	234	240	238
12:00	97.3	6.2	74.7	243.8	241.5	240
14:00	109	7.4	89.4	240	239	236
16:00	112	7.7	88.4	240	241	240
Miércoles 21/5/08						
8:00	118	7.7	80.1	240	239	237
10:00	121.7	2.3	97	243.4	242.3	240.7
12:00	113.2	7.4	95.2	238	239	241
14:00	115.5	7.2	90	238.3	236.7	238.9
16:00	130.2	8.6	102.5	236.1	240	240
Jueves 22/5/08						
8:00	103.4	6.7	88.6	244.1	240.6	242.2
10:00	122.3	7.5	108.2	243.5	239.1	243
12:00	112	7.2	99	241.5	259.7	240.7
14:00	102.5	6.7	97	239	238.7	235
16:00	100	5.7	81	239	238	236
Viernes 23/5/08						
8:00	114	7.2	96.4	237	240	241.3
10:00	103	7	97.4	236	239	237
12:00	98.8	6	82.8	242.3	241	240.5
14:00	109.4	5.8	85	243.2	240	241
16:00	113	6.2	88.7	240	238	243
Sábado 24/5/08						
8:00	69.7	3.8	55.6	236.6	237	235.2
10:00	78.6	4.6	63.3	234	243	242
12:00	51.6	3.1	50.4	231	243.1	241
14:00	78.2	4.8	50.5	239	235	234
16:00	83	3.9	46	235	242	235.7
Domingo 25/5/08						
8:00	40.4	2.1	21	234	236.2	236
10:00	63.7	3.1	33	238.1	237	237
12:00	62.4	3	25.5	235.6	238	231.5
14:00	57.6	3.2	24.4	238.1	236	236
16:00	54	2.8	21	237	236.4	235.8

Anexo 4: Tabla de las mediciones de corrientes por fase y tensiones de línea realizadas a la cuchilla principal del panel general del edificio 3 (Minas).

Cuchilla Principal Edificio 3						
Hora	I			V		
	B	A	C	AB	AC	BC
Lunes 19/5/08						
8:00						
10:00	51.4	4.3	70.4	232	233.5	225
12:00						
14:00	52.4	4.3	64.6	234	233	227
16:00						
Martes 20/5/08						
8:00						
10:00	45	3.7	64.3	238	234	230
12:00						
14:00	46.3	4.6	72	234	237.1	232
16:00						
Miércoles 21/5/08						
8:00						
10:00	62.5	4.4	77.2	240	235	239
12:00						
14:00	58.2	4.6	76.6	242	238	237
16:00						

Anexo 5: Tabla de las mediciones de corrientes por fase y tensiones de línea realizadas a la cuchilla principal del panel general del edificio 4 (Geología).

Cuchilla Principal Edificio 4						
Hora	I			V		
	B	A	C	AB	AC	BC
Lunes 19/5/08						
8:00	36.2	3.1	27.7	238	235	240
10:00	47.8	3	40.3	236.2	236.5	239
12:00	46.4	0.5	42	236.8	243.7	233.8
14:00	55.1	5.9	34.1	241.1	247.3	235.6
16:00	45	3	29.6	240	242	240.3
Martes 20/5/08						
8:00	26.1	0.1	14.6	241.5	246.7	243.3
10:00	54.2	3	37.6	240.5	243.3	233.9
12:00	38.3	2.4	27.1	239.2	246.1	237.2
14:00	53.4	1.5	31.8	241.1	248.2	239
16:00	37.6	1.4	22.2	240.4	242.8	242
Miércoles 21/5/08						
8:00	31.1	0.4	34	237	235	238
10:00	54.7	3.7	36.5	239	241	235
12:00	42.8	1.4	26.7	242	240	243
14:00	51.2	3.2	60.6	236	237	239
16:00	45	3.2	33.5	237	236	235
Jueves 22/5/08						
8:00	43	0.4	33.2	238	235	241
10:00	50.3	0.5	29.3	240	237	240
12:00	46	1.4	32.1	243	242	239
14:00	60.6	3	42	237	240	237
16:00	33.7	0.4	31.4	235	239	236
Viernes 23/5/08						
8:00	36.5	0.4	29.7	236.6	239	237
10:00	53.3	3.4	31.4	239	237	235
12:00	47.5	2.1	33.4	236	242	242
14:00	47.6	0.5	31.8	239	241	237
16:00	42.3	2.2	26.8	235	238	236
Sábado 24/5/08						
8:00	13	0.5	12	240	237	239
10:00	18.6	3	10.7	243.4	239	234
12:00	23	2.9	12.6	238	241	243.8
14:00	16.4	0.5	16.7	238.3	238	240
16:00	14.3	0.5	16	236.1	236	240
Domingo 25/5/08						
8:00	7.5	0.5	6.6	235	237	237.3
10:00	16.5	0.5	5.4	237	240	236
12:00	32.6	0.5	22.2	239	242	238
14:00	23	2.8	12.5	240	239	221
16:00	20.4	2.8	13.2	242	237	234

Anexo 6: Tabla del resultado del consumo medio de energía eléctrica diario en horario laborable en el área Docente.

Hora	t (s)	P (kW)	E (kWh)	E_T (kWh) media desde las 8:00 AM hasta las 6:00 PM
Lunes 19/5/08				
8:00	68	38.1	76.2	465
10:00	48	54	108	
12:00	60	43.2	86.4	
14:00	40	64.8	129.6	
16:00	80	32.4	64.8	
Martes 20/5/08				
8:00	65	39.9	79.8	487.2
10:00	50	51.8	103.6	
12:00	58	44.7	89.4	
14:00	42	61.7	123.4	
16:00	57	45.5	91	
Miércoles 21/5/08				
8:00	75	34.6	69.2	485.8
10:00	52	49.8	99.6	
12:00	59	43.9	87.8	
14:00	42	61.7	123.4	
16:00	49	52.9	105.8	
Jueves 22/5/08				
8:00	58	44.7	89.4	497.2
10:00	48	54	108	
12:00	50	51.8	103.6	
14:00	46	56.3	112.6	
16:00	62	41.8	83.6	
Viernes 23/5/08				
8:00	68	38.1	76.2	516.4
10:00	36	72	144	
12:00	61	42.5	85	
14:00	45	57.6	115.2	
16:00	54	48	96	
Sábado 24/5/08				
8:00	92	28.2	56.4	265
10:00	81	32	64	
12:00	97	26.7	53.4	
14:00	110	23.6	47.2	
16:00	118	22	44	
Domingo 25/5/08				
8:00	172	15.1	30.2	197
10:00	107	24.2	48.4	
12:00	117	22.2	44.4	
14:00	148	17.5	35	
16:00	133	19.5	39	

Anexo 7: Banco de transformadores del área Docente.



Anexo 8: Cuchilla 1 del panel general del área Docente.



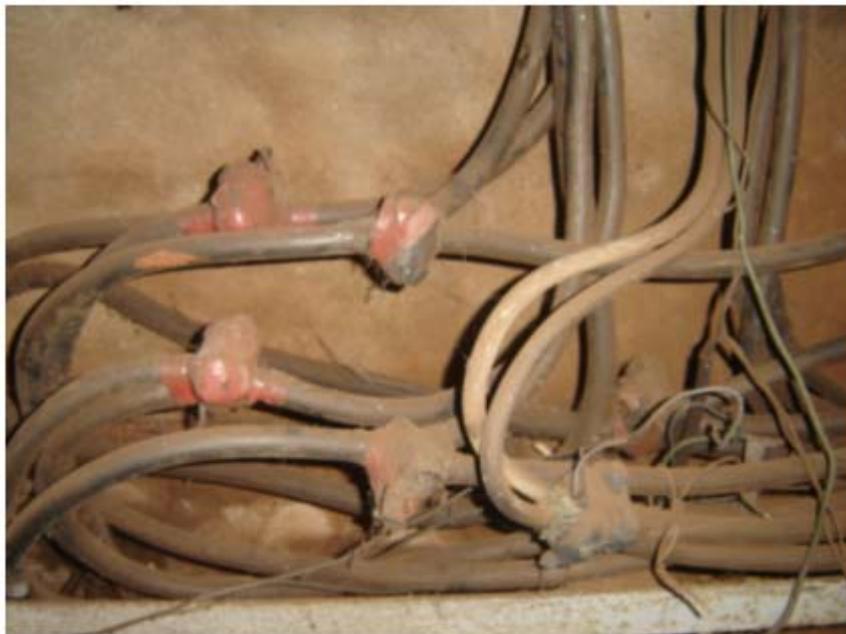
Anexo 9: Cuchilla 2 del panel general del área Docente.



Anexo 10: Cuchilla 4 del panel general del área Docente.



Anexo 11: Cableado que entran y salen de las cuchillas del panel general del área Docente.



Anexo 12: Estado de las cuchillas del panel principal del edificio 1 (Rectoría).



Anexo 13: Cableado que entran y salen al panel principal del edificio 2 (Metalurgia-Electromecánica).



Anexo 14: Panel principal del edificio 2.



Anexo 15: Estado de las cuchillas del panel principal del edificio 2.



Anexo 16: Estado de las cuchillas del panel principal del edificio 2.



Anexo 17: Cableado del panel principal del edificio 2.



Anexo 18: Condiciones de la cuchilla principal del edificio 3 (Minas).

