



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

Trabajo de Diploma en opción al Título De Ingeniero Eléctrico

*Título: Diseño del sistema de distribución eléctrica
para las facilidades temporales del Proyecto
Ferroníquel Minera S.A.*

Autor: Betania Camilo Reyes

Tutor (es): Ing. Yordan Guerrero Rojas.

Dpto. Ingeniería Eléctrica ISMM

Ing. Ernesto Rodríguez Borges.

Esp. Obras Industriales.

Moa 2009-2010
"Año 52 de la Revolución"



Declaración de Autoridad

Yo: Betania Camilo Reyes

Autora de este trabajo de Diploma certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Minero Metalúrgico de Moa, y hacer uso del mismo en la finalidad que estime conveniente el Ingeniero Yordan Guerrero Rojas.

Firma del Tutor

Firma del Diplomante.

Agradecimientos

A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.

A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo, al ing. Yordan Guerrero Rojas y Ernesto Rodríguez Borges.

A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.

A mis amigos que siempre creyeron en mí.

A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

A la Revolución, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .

A todos

Muchas Gracias.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de Diploma a mi Madre Irma Rosa Reyes Guilarte que siempre me ha apoyado en todos mis sueños y proyectos, que me he trazado en la vida, así como a mis hermanas, esposo, hijos, a la memoria de mi Padre y demás familiares. A mis compañeros de estudio y de trabajo, amigos y todas las demás personas que de una forma u otra siempre me dieron ánimos.

Muchas Gracias



Pensamiento

Una idea vale poco más o menos lo que la palabra con que se expresa significa.

José Martí.



Resumen

En el presente trabajo se presenta el diseño del sistema de distribución de las facilidades temporales para las obras constructivas del Proyecto Ferroníquel Minera S.A. Se realiza un análisis de las cargas que se alimentarán para la selección de dispositivos y equipos.

En el primer capítulo se hace referencia a la teoría general para el desarrollo de la investigación. Fundamentando en las conexiones de los transformadores, los fallos en las redes, los tipos de interruptores y fusibles.

En el segundo capítulo se caracteriza la instalación y se prevén las futuras cargas a instalar, determinándose su potencia instalada. Se determinan las corrientes y potencias por centro de carga.

En el tercer capítulo se realiza el diseño de la red, la selección de los dispositivos y la valoración económica.

Summary

Presently work is presented the design of the system of distribution of the temporary facilities for the constructive works of the project Ferroníquel Mining CORP. An analysis of the loads that will permit the selection of devices and equipment is carried out.

In the first chapter reference is made to the general theory for the development of the investigation. Basing in the connections of the transformers, the shortcomings in the nets, the types of switches and fusible.

In the second chapter the installation is characterized and the future loads to install are estimated, being determined its installed power. The currents and powers are determined by load center.

In the third chapter the design of the net, the selection of the devices and the economic valuation are carried out.

**Índice.**

Declaración de Autoridad.....	I
Agradecimientos	II
Dedicatoria.....	III
Pensamiento.....	IV
Resumen	V
Introducción General.	1
Situación Problémica.....	2
Hipótesis.....	3
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	5
Resultados esperados.....	6
CAPÍTULO # 1. LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Conexiones de transformadores.....	8
1.3 Selección de dispositivos de protección, interruptores y cables.....	17
1.3.1 Dispositivos de protección. Relés de protección.....	19
1.3.2 Fallos en la red.....	21
1.3.3 Tipos de interruptores.....	23
1.3.4 Fusibles.....	25
1.4 Normas de diseño.....	25
1.5 Pararrayos.....	25
1.5.1 Pararrayos - autoválvula.....	26
1.6 Sobretensiones.....	27
1.7 Calidad de energía.....	28
CAPÍTULO 2. Centros de carga.....	30
2.1 Introducción.....	30
2.2 Caracterización de la instalación y red existente.....	30
2.3 Estudio de la previsión de cargas (potencia instalada).....	33
2.4 Parámetros para la selección de los dispositivos de la red.....	37
Capítulo # 3 Diseño e Implementación del Sistema.....	39



3.1 Introducción.....	39
3.2 Diseño de la red de suministro.....	39
3.3 Selección de los dispositivos de la red.....	42
3.4 Valoración Económica.....	51
Conclusiones Generales.....	53
Recomendaciones.....	54
Bibliografía.....	54
Anexos	

Introducción General.

El proceso de construcción del Proyecto Ferróníquel Minera S.A. está concebido según cronograma para tres años de duración.

La aparatura que servirá de soporte técnico administrativo para las obras constructivas del Proyecto Ferróníquel Minera SA, comprende un grupo de instalaciones provisionales - Facilidades Temporales- cuya alimentación eléctrica proviene de la línea de 13.8 kV desde la subestación Rusky hasta la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCHE) Nuevo Mundo en la Presa Moa.

Ante esta coyuntura se formula la siguiente:



Situación Problemática

Para el inicio y desarrollo de las obras constructivas del proyecto Ferroníquel Minera S.A, es imprescindible el montaje de facilidades temporales desde las cuales se administre dicho proceso, estas instalaciones requieren de un suministro eléctrico estable y eficiente. Por lo que se impone realizar un análisis de las cargas que se alimentarán para la selección de dispositivos y equipos, con vista a reducir la influencia negativa en la calidad de energía de dicha red.



Hipótesis

Si en el diseño del esquema de suministro eléctrico que se propone, independizando cargas en el mobiliario de las facilidades temporales y garantizando su separación galvánica del resto de la obra, además de la posible instalación futura de filtros activos o pasivos que correspondan según los resultados del estudio es posible contar con una red eficiente.



Objetivo general

Diseñar un esquema de distribución que garantice la estabilidad operacional del equipamiento instalado con niveles aceptables de calidad de energía durante la ejecución del proyecto.



Objetivos específicos

1. Elaborar un marco teórico de los dispositivos y factores a utilizar en el diseño del sistema eléctrico de las facilidades temporales.
2. Identificar las cargas de las facilidades temporales.
3. Calcular los parámetros de la red de suministro.
4. Evaluar las variantes de alimentación a aplicar para el diseño de la red de suministro de las facilidades temporales.
5. Seleccionar los componentes de la red de suministro eléctrico.
6. Realizar la ingeniería de diseño de la PGD (Pizarra General de Distribución).



Resultados esperados

Identificación de las cargas de las facilidades temporales.

Evaluación de las variantes de alimentación de las facilidades temporales.

Elección de los componentes de la red de suministro.

Diseño de la pizarra general de distribución.

CAPÍTULO # 1. LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

1.1 Introducción

En el Complejo Energía-Combustible la forma de energía más versátil es, indudablemente, la energía eléctrica, lo que está dado por la facilidad de su uso en cualquier proporción, su accesibilidad y posibilidad de conversión, de manera relativamente sencilla, a otros tipos de energía. A ello es preciso agregar la facilidad de su transportación económica a grandes distancias, todo lo que le ha dado, desde la época de su primera implementación práctica, una preferencia indiscutible y un lugar sin competencia en la vida que llamamos moderna, por lo cual es preciso, para brindar una eficiente distribución de los servicios eléctricos y hacer un aprovechamiento máximo de los recursos con que contamos, seleccionar apropiadamente los diferentes dispositivos a utilizar y realizar una correcta conexión de los transformadores, teniendo en cuenta las normas de diseño y demás acciones y parámetros necesarios para el buen funcionamiento de los mismos. En el presente capítulo se realiza el marco teórico de la investigación que da paso al desarrollo del trabajo.

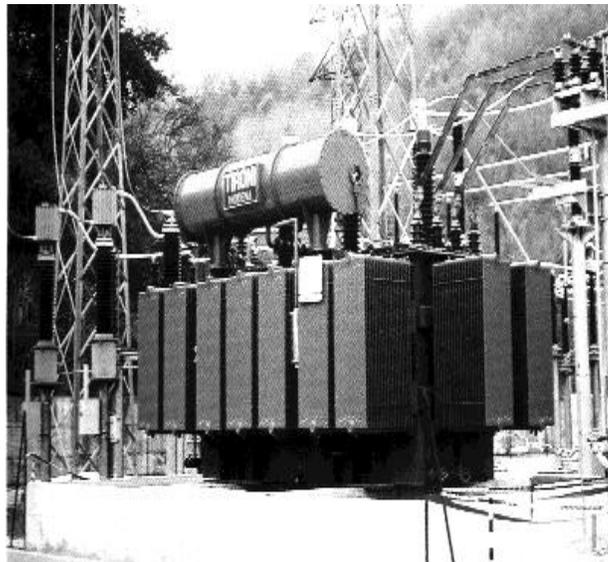


Figura. 1.1 Transformador trifásico.

1.2 Conexiones de transformadores.

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

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

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

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

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

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

$$K = \frac{U_1}{U_2} \quad (1.1)$$

Donde:

K es la relación de transformación.

U_1 es la tensión nominal del devanado primario.

U_2 es la tensión nominal del devanado secundario.

Para conectar dos transformadores en paralelo, los diagramas de tensión deben, coincidir. Por supuesto, es necesario que los dos transformadores tengan impedancia, capacidad nominal y frecuencia similares. La división de la corriente de carga, en proporción a las

capacidades de kVA de los transformadores en paralelo está determinada por la igualdad de sus voltajes nominales, relación de vueltas en los devanados, porcentaje de impedancias y relaciones de su reactancia a su resistencia.

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

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

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

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

Por ejemplo, sean dos transformadores de 132/66 kV y 132/65 kV conectados a una red de 132 kV.

En vacío, con sus secundarios no conectados en paralelo, se tendrían unas tensiones secundarias de 66 kV y 65 kV respectivamente. Conectando sus secundarios en paralelo se fuerza que las tensiones secundarias sean iguales, para lo cual aparece una intensidad circulatoria entre ambos, dejando de estar en vacío, aunque no alimenten ninguna carga.

Si las relaciones de transformación de ambos transformadores son iguales, las tensiones Thevenin son iguales. Recuérdese que la tensión de Thevenin representa la tensión del secundario del transformador en vacío:

$$\frac{U}{U_{th}} A = K \quad \text{y} \quad \frac{U}{U_{th}} B = Kt$$

y si los dos tienen igual relación de transformación y su primario conectado a la misma tensión, sus tensiones secundarias en vacío son iguales.

Teniendo en cuenta que la U_{thA} corresponde a la tensión de Thevenin del transformador A y $U_{th B}$ corresponde a la tensión de Thevenin del transformador B.

En el circuito que resulta, la corriente circulatoria entre ambos transformadores es nula.

Con el acoplamiento correcto se desea que los dos transformadores lleguen a la vez a sus respectivas intensidades nominales. El acoplamiento correcto evita sobrecargas en los transformadores, ya que la intensidad y la potencia se reparten proporcionalmente a las intensidades nominales (es equivalente a un reparto proporcional a las potencias nominales, si las tensiones nominales son iguales).

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

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

Grupos de conexión según el desplazamiento angular.

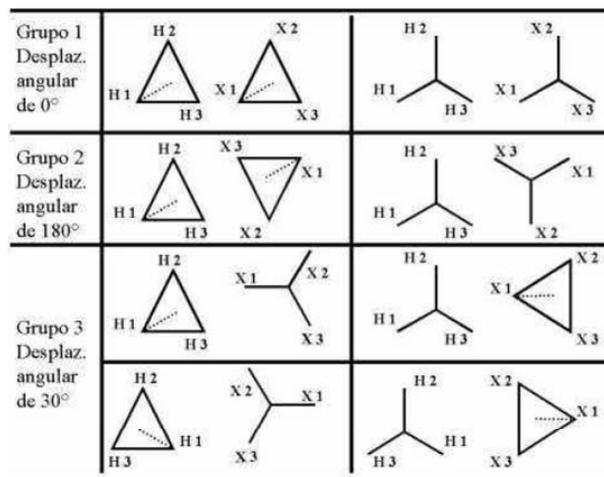


Figura 1.2. Transformadores trifásicos sin derivación.

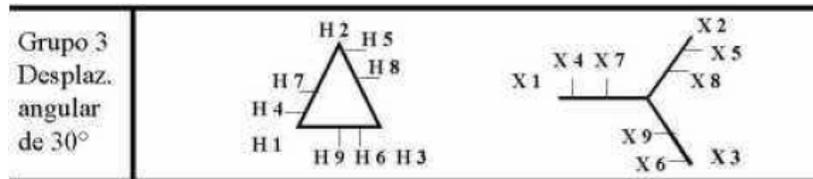


Figura 1.3. Transformadores trifásicos con derivación.

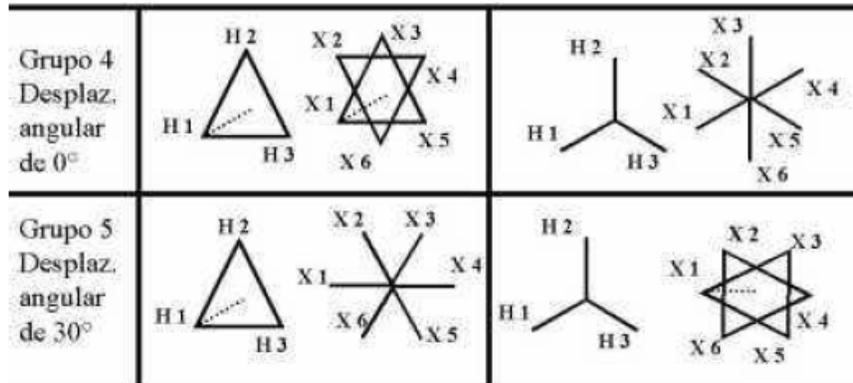


Figura 1.4. Transformadores de 6 fases sin derivación.

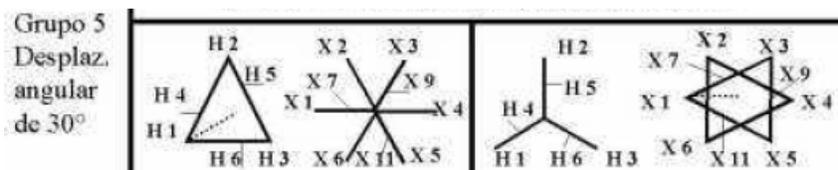


Figura 1.5. Transformadores de 6 fases sin derivación.

- **Conexión de los transformadores en estrella, triángulo y zigzag.**

Tanto el primario como el secundario de un transformador trifásico se pueden conectar de tres formas:

Estrella (Y), triángulo (D) y zigzag (Z). Dependiendo de la forma de conexión, tendrá relaciones de transformación y propiedades diferentes.

La conexión en estrella permite tener el neutro accesible. La corriente de línea coincide con la corriente de cada devanado, es decir que $I_f = I_L$. Los devanados soportan la tensión de

fase. ($U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$)

En la conexión en triángulo no se puede tener neutro. La corriente de cada devanado es la de línea dividida por tres. Los devanados aguantan la tensión compuesta o de línea. Para igual tensión de línea e igual potencia, cada devanado debe tener $3 = 1.73$ veces más espiras que en estrella (la tensión de devanado es superior), pero de sección tres veces inferior (la intensidad de devanado es inferior). Luego la cantidad total de cobre es la misma. Por lo que se puede concluir que el transformador convierte tensión de un nivel a otro, pero no transforma potencia.

Para tener una conexión en zigzag hay que hacer dos bobinas iguales por fase, por las que circulará la intensidad de línea. Para igual tensión, hace falta un número de espiras $2/3 = 1.15$ veces más grande que en estrella, espiras de la misma sección. Se puede tener neutro accesible. Cada una de las dos bobinas de cada devanado soporta una tercera parte de la tensión compuesta o de línea.

En general, la conexión en triángulo se comporta bien frente a los desequilibrios que provoca la alimentación de cargas no simétricas, mientras que las conexiones en estrella presentan problemas, deformando la onda de tensión (aparecen armónicos de tensión). La conexión en zigzag representa una opción mejorada de la conexión en estrella, y se comporta bien ante desequilibrios, aunque presenta el inconveniente de necesitar un 15% más de cobre. Permite también la creación de un neutro artificial.

Entonces:

- La conexión Y-Y se utiliza poco por los problemas mencionados.
- Las conexiones Y-D y D-Y funcionan razonablemente bien ante cargas desequilibradas, ya que el triángulo redistribuye parcialmente el desequilibrio entre las fases,
- La conexión D-D se comporta bien con cargas desequilibradas, aunque la ausencia de neutro resulta a veces un inconveniente si se utiliza para distribución. Si se trata de un banco trifásico tiene la ventaja de que se puede quitar un transformador para realizar operaciones de mantenimiento o reparación, mientras que los restantes pueden seguir trabajando.

- Las conexiones Y-Z y D-Z se emplean bastante en distribución por su excelente comportamiento frente a desequilibrios. La conexión en zigzag se encuentra siempre en el lado de baja tensión por la posibilidad de crear un neutro artificial. La conexión Y-Z es la opción mejorada de la Y-Y. En la siguiente figura se puede apreciar este tipo de conexión.

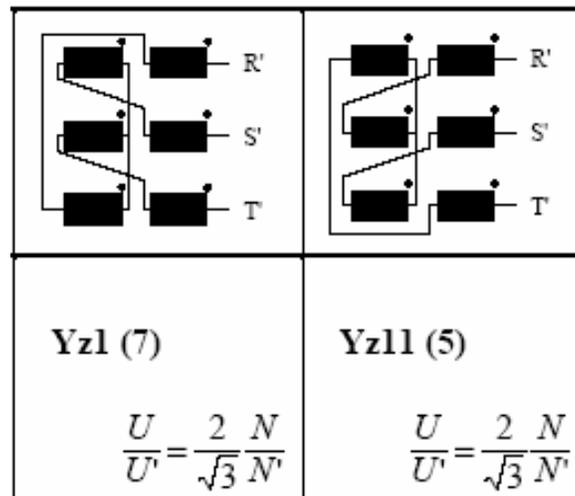


Figura. 1.6 Transformador trifásico con conexión estrella-zigzag y diagrama fasorial.

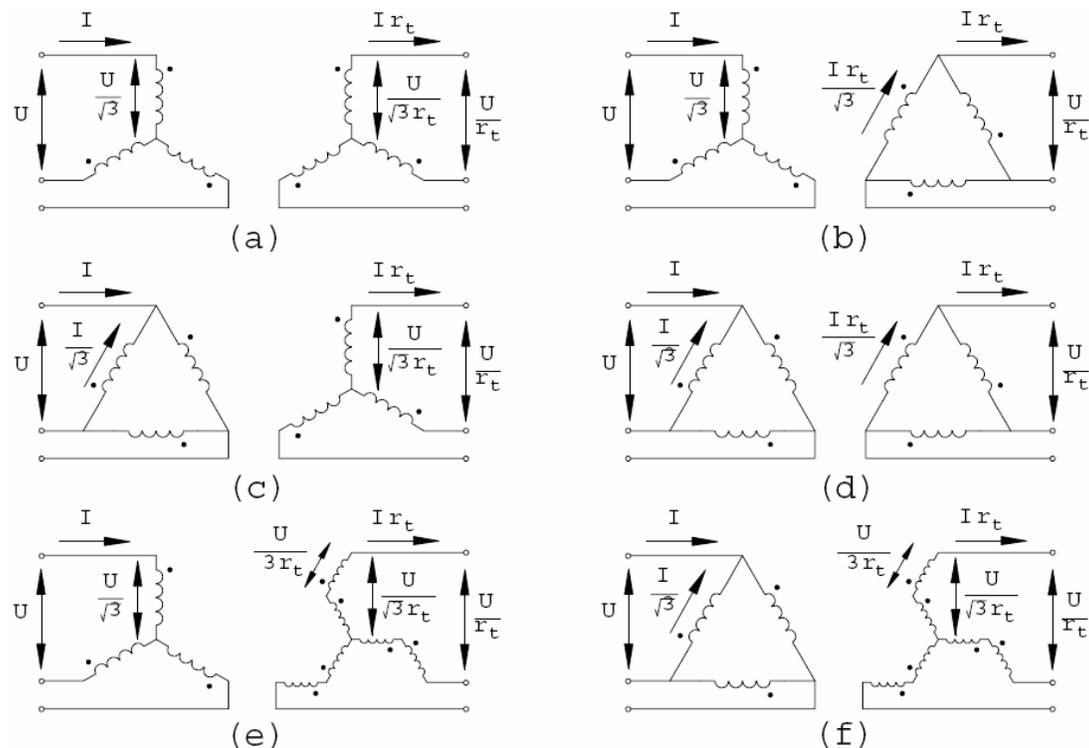


Figura 1.7 Conexiones usuales de los devanados de un transformador trifásico: (a) estrella-estrella (Y-Y), (b) estrella-triángulo (Y-D), (c) triángulo-estrella (D-Y), (d) triángulo-triángulo (D-D), (e) estrella-zigzag (Y-Z), (f) delta-zigzag (D-Z).

Demanda máxima para la selección de transformadores.

Todas las cargas individuales no están funcionando necesariamente a su plena potencia nominal ni necesariamente al mismo tiempo. Los factores k_u y k_s permiten la determinación de las demandas máximas de potencia y de potencia aparente requeridas en la realidad para poder dimensionar la instalación.

Factor de máxima utilización (k_u)

El consumo de potencia de una carga en condiciones normales de funcionamiento es en ocasiones menor que la indicada como su potencia nominal, un hecho bastante común que justifica la aplicación de un factor de utilización (k_u) para el cálculo de valores prácticos.

Este factor debe aplicarse a cada carga individual, en particular a los motores eléctricos, que en muy raras ocasiones funcionan a plena carga. En una instalación industrial, este factor se puede estimar para los motores con un valor promedio de 0,75. Para cargas de iluminación incandescente, el factor es siempre igual a 1.

Para circuitos de tomacorrientes, los factores dependen completamente del tipo de los aparatos alimentados por los tomacorrientes.

Factor de simultaneidad (k_s)

La operación simultánea de todas las cargas de una instalación determinada nunca ocurre en la práctica, o sea hay siempre algún grado de diversidad y este hecho se toma en cuenta en los cálculos mediante el uso de un factor de simultaneidad (k_s).

El factor k_s se aplica a cada grupo de cargas (por ejemplo, las que son alimentadas desde un panel de distribución o de subdistribución). La determinación de estos factores es una responsabilidad del diseñador, porque requiere un conocimiento detallado de la instalación y de las condiciones en que se van a explotar los circuitos individuales. Por esta razón, no es posible dar valores precisos de aplicación general.

Factor de simultaneidad para paneles de distribución.

La Tabla 1.1 muestra los valores hipotéticos de k_s para un panel de distribución que alimenta un número de circuitos para los cuales no hay indicación de la manera en que la carga total se divide entre ellos.

Si los circuitos son principalmente para cargas de iluminación, es prudente adoptar para k_s valores cercanos a la unidad.

Tabla 1.1 Factor de simultaneidad.

Cantidad de circuitos		Factor de simultaneidad (k_s)
Sistema funcional ensayado	2 y 3	0,9
	4 y 5	0,8
	6 a 9	0,7
	10 y más	0,6
Sistema funcional parcialmente ensayado		1,0

Los transformadores secos son ideales para aplicaciones principalmente en áreas metropolitanas (edificios públicos, oficinas, subestaciones de distribución) y para aplicaciones industriales, porque pueden ser ubicados cerca del punto de utilización de la potencia lo cual permitirá optimizar el sistema de diseño minimizando los circuitos de baja tensión y alta intensidad con los correspondientes ahorros en pérdidas y conexiones de baja tensión. Los transformadores secos son medioambientalmente seguros, proporcionan un excelente comportamiento a los cortocircuitos y robustez mecánica, sin peligro de fugas de ningún tipo de líquidos, sin peligro de fuego o explosión y son apropiados para aplicaciones interiores o exteriores. En muchos países es obligatorio instalar transformadores secos cuando las subestaciones están situadas en edificios públicos.

Los transformadores de tipo seco encapsulado al vacío están diseñados a prueba de humedad y son adecuados para funcionar en ambientes húmedos o muy contaminados. Son los transformadores idóneos para funcionar en ambientes que presenten una humedad superior al 95 % y en temperaturas por debajo de los $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resumiendo algunas de sus características:

- Los que menos espacio necesitan.
- Los que menos trabajo de ingeniería civil precisan.
- No requieren características de seguridad especiales (detección de incendios).
- Excentos de mantenimiento.
- Una vida útil de los transformadores más larga gracias a un bajo envejecimiento térmico.
- Puede instalarse cerca del lugar de consumo reduciendo las pérdidas de carga.
- Un diseño óptimo sujeto a mejoras constantes tan pronto como se dispone de nuevos materiales.
- Son seguros y respetan el medio ambiente.
- Contaminación medioambiental reducida.
- Sin riesgo de fugas de sustancias inflamables o contaminantes.
- Fabricación segura para el medio ambiente (sistema cerrado).
- Apropriados para zonas húmedas o contaminadas.
- Sin peligro de incendio.
- Los transformadores son incombustibles.
- Alta resistencia a los cortocircuitos.
- Gran capacidad para soportar sobrecargas.
- Buen comportamiento ante fenómenos sísmicos.
- Capaces de soportar las condiciones más duras de balanceo y vibraciones.
- Impactos medioambientales mínimos.
- Alto reciclado (90 %).

Los transformadores de tipo seco encapsulado al vacío ABB varían desde 50 kVA hasta 30 MVA con tensiones de trabajo de hasta 52 kV.

1.3 Selección de dispositivos de protección, interruptores y cables.

La seguridad en el suministro de energía eléctrica desde la central al punto de consumo depende, en gran parte del grado de protección previsto en las subestaciones y líneas intermedias. Una línea eléctrica debe estar básicamente protegida contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones.

- **Interruptor automático de potencia.**

Dispositivo electromecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, así como corrientes en condiciones anormales específicas del circuito.

Un Interruptor de potencia automático puede ser maniobrado además mediante relés que pueden ser (relé temporizador de máxima intensidad, relé térmico directo, relé electrónico de protección de líneas, etc.).

La principal función de un automático es asegurar la protección de los circuitos que alimenta. Aseguran igualmente las funciones de seccionamiento y de mando. La protección de los circuitos debe estar asegurada contra:

- Las sobrecargas: Esta función está realizada por la desconexión térmica mediante el bimetálico o de los relés estáticos a tiempo inversos e integrados en el automático.
- Los cortocircuitos: Esta función está realizada por el dispositivo magnético o por relés estáticos a tiempo constante, instantáneos o a corte retardado e integrados al automático:

En los casos donde es necesaria una protección contra los defectos de aislamiento, es posible asociar al automático un bloque detector de corrientes de fuga a tierra.

Las características eléctricas de estos elementos de protección varían en función del tipo de desconexión o del relé y del tipo de automático, en la siguiente figura aparecen distintas curvas de ajuste para estas protecciones.

Criterios de elección:

La elección del tipo de interruptor automático para la protección de una instalación en corriente continua depende esencialmente de los criterios siguientes:

- Intensidad nominal que permite elegir el calibre.
- Tensión nominal que permite determinar el número de polos en serie que deben participar en el corte.

- Intensidad de cortocircuito máxima en el punto de instalación que permite definir la potencia de corte.
- El tipo de red.

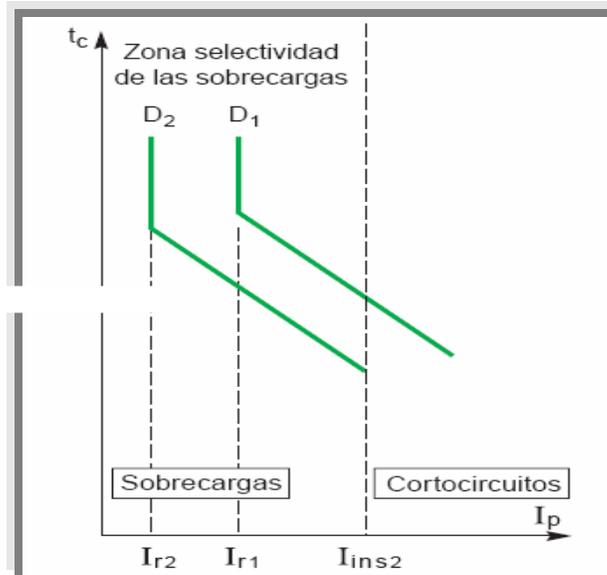


Figura. 1.8 Curvas de Operación de un Interruptor Automático.

- **Cables**

Cálculo de la sección de un cable:

La determinación reglamentaria de la sección de un cable consiste en calcular la sección mínima normalizada que satisface tres condiciones fundamentales:

1. Criterio de la máxima intensidad admisible por calentamiento: La temperatura del conductor del cable trabajando a plena carga a régimen permanente no deberá traspasar nunca la temperatura máxima admisible por los materiales aislantes de dicho cable. Esta suele ser 70 °C para cables con aislamientos termoplásticos y 90 °C para cables con aislamientos termoestables.
2. Criterio de la caída de tensión: La circulación de corrientes a través del conductor origina una pérdida de la potencia transportada por el cable, así como una caída de tensión entre su origen y extremo la cual debe ser inferior a límites establecidos en el "Reglamento Electrotécnico Cubano".
3. Criterio de la intensidad de cortocircuito: La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable como consecuencia de la ocurrencia de un cortocircuito no deberá

traspasar nunca la temperatura máxima admisible por los materiales aislantes de dicho cable.

1.3.1 Dispositivos de protección. Relés de protección.

Los relés de protección son derivados de los dispositivos de medición, los cuales por su funcionamiento rápido y automático, hacen posible la ejecución de la acción de “proteger”.

Los relés de protección deben responder a diversas exigencias:

- Consumo propio reducido.
- Sensibilidad.
- Capacidad de soportar cortocircuitos sin deformarse.
- Exactitud de los valores de funcionamiento.
- Indicación de los valores de funcionamiento mediante señales ópticas.
- Posibilidad de transmisión de los valores medidos para la indicación a distancia.

El funcionamiento general de los relés de protección es tal que, al sobrepasar o descender por debajo de un valor de la magnitud de acción para la cual ellos han sido instalados, provocan la desconexión del dispositivo de potencia que gobiernan.

- ***Tipos de relé de protección y vigilancia de líneas y redes.***

Según su funcionamiento los relés de protección pueden ser:

- Sobreintensidad.
- Mínima y máxima tensión.
- Vigilancia de contactos a tierra.
- Diferenciales.
- Distancia.

- ***Relé de intensidad.***

El aparato actúa cuando la corriente que circula sobrepasa la corriente de operación ajustada en él.

- El relé temporizado de sobreintensidad independiente: es la combinación de relés de tiempo y de intensidad, cuando se detecta una sobreintensidad se pone en

funcionamiento el mecanismo de tiempo que es totalmente independiente de la magnitud de la intensidad.

- El relé temporizado de sobreintensidad térmico: este tipo de relé actúa al cabo de unos segundos de producirse la sobrecarga, disminuyendo el tiempo de disparo fuertemente al aumentar la intensidad.

- **Relés de tensión.**

Su comportamiento es similar al relé de sobreintensidad no retardado, distinguiéndose dos tipos: de mínima y máxima tensión.

- El relé de mínima tensión actúa cuando la tensión de red disminuye a un valor que pudiera ser peligroso para los receptores (85 % de VL) y que persiste durante cierto tiempo.
- El relé de máxima tensión tiene la misión de evitar la elevación de la tensión de red a valores superiores al máximo previsible.
- El relé de vigilancia de la tensión trifásica se coloca en redes trifásicas para la vigilancia de las tres tensiones en relés de protección o contadores y así evitar disparos o mediciones erróneas. Generalmente señalan fuertes descensos o la caída de una o varias tensiones.

- **Relé de vigilancia de fallo a tierra.**

El relé de vigilancia de contacto a tierra tiene la misión de señalar inmediatamente, en redes sin puestas a tierra del punto estrella, los contactos a tierra que se presenten en la red. Los dispositivos de extinción de contactos a tierra disminuyen la corriente en los puntos de contacto a tierra a una medida no perjudicial, evitando poner inmediatamente fuera de servicio las partes de la línea afectadas por el contacto a tierra.

- **Relé diferencial.**

Tiene la misión de detectar la corriente de defecto de una línea por comparación de las corrientes en sus dos extremos captadas por medio de transformadores de intensidad. Cuando la comparación de corrientes se hace de dos líneas en paralelo, se llama relé diferencial transversal.

- **Relé de distancia.**

Es un dispositivo que actúa al producirse cortocircuitos en las líneas durante un tiempo que resulta proporcional a la distancia donde se haya producido dicho defecto. Este tipo de protección es el más generalizado en líneas de media y alta tensión.

- **Protección contra sobrecorrientes.**

Este tipo de protecciones suele utilizarse como medida de precaución para evitar el paso de intensidades superiores a las nominales, con el consiguiente peligro para el aislamiento, por causas térmicas. Naturalmente este exceso de intensidad es siempre muy inferior a la corriente de cortocircuito, utilizándose para su prevención dispositivos térmicos o magnéticos, similares a los utilizados en las protecciones de motores. También pueden utilizarse fusibles, como dispositivos para interrumpir el paso de sobrecorrientes. Además puede conseguirse una protección eficaz de sobreintensidades con seccionadores en carga combinado con fusibles de apertura rápida y relés térmicos.

1.3.2 Fallos en la red.

- **Corrientes de cortocircuito.**

Debido al constante incremento de producción de energía eléctrica, las corrientes de cortocircuitos, en los sistemas de transporte y distribución actuales alcanzan valores elevados, que en muchos casos pueden afectar gravemente las instalaciones.

La corriente de cortocircuito de una instalación eléctrica, en general va acompañada en el momento inicial, de fenómenos transitorios seguidos de una situación permanente. Los efectos básicos del cortocircuito sobre la instalación se pueden resumir en dos:

- a) Efecto electrodinámico, debido a la fuerza que aparece en los conductores al ser atravesados por fuertes corrientes y estar bajo campo magnético. El campo magnético lo crea la misma corriente o bien la corriente que circule por los conductores vecinos de la misma o distintas fases. Esta fuerza es proporcional al cuadrado de la intensidad. La fuerza máxima se producirá, por tanto cuando la corriente tenga el valor máximo.
- b) Efecto térmico, debido al calor producido por la intensidad (Efecto Joule) y a la capacidad calorífica de la zona donde se haya producido. Dada la escasa duración del cortocircuito, normalmente inferior a 3s, puede afirmarse que no se produce transmisión de calor al

medio que rodea al conductor. Puede tomarse como ecuación de equilibrio térmico aproximada la siguiente:

$$Q = R \cdot I^2 \quad (1.3)$$

$$Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t \quad (1.4)$$

Donde:

R = resistencia óhmica del conductor.

I = intensidad que circula por él.

Δt = tiempo de duración del cortocircuito.

Q = capacidad calorífica del cable, que depende de su sección, clase de conductor (Cu o Al) y temperatura máxima admisible.

A partir de la ecuación de equilibrio podrá calcularse la intensidad de cortocircuito máxima que es capaz de soportar el cable. Además de los efectos anteriores, un cortocircuito produce una caída de tensión elevada, que a su vez puede dar lugar a desequilibrios de tensiones y corrientes en la red.

- **Clases de Cortocircuitos.**

En las redes trifásicas y con neutro a tierra se pueden distinguir:

- Cortocircuito trifásico.
- Cortocircuito entre dos fases sin contacto a tierra, que afecta a dos fases cualesquiera.
- Cortocircuito entre dos fases con contacto a tierra, que afecta a dos fases y tierra.
- Cortocircuito entre fase y tierra, es el caso más normal en las líneas de alta Tensión.

Un cortocircuito equivale a una carga cuya intensidad solo viene limitada por la impedancia de la parte de red afectada.

- **Cálculo de la intensidad de cortocircuito (I_{cc}).**

El cortocircuito trifásico equivale a una carga simétrica de la red; por tanto el cálculo puede realizarse por fase como si se tratara de una línea normal. Los restantes cortocircuitos son asimétricos y tienen que calcularse por métodos difíciles por lo que se omitirá su resolución.

Los pasos a seguir para la resolución de lcc son los siguientes:

- 1º.- Determinar la impedancia total del tramo de línea afectada por el cortocircuito.
- 2º.- Determinar la lcc que permanece en el punto considerado.

La impedancia de la línea afectada por el cortocircuito estará formada por circuitos serie o paralelo, o mallas que habrían de resolverse y obtener la Z equivalente. Las componentes de la impedancia total serán la resistencia (Rcc) y reactancia (Xcc) de cortocircuito:

$$Z_{cc} = R_{cc} + j \cdot X_{cc} \quad (1.4)$$

$$Z = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}$$

Normalmente las componentes Rcc y Xcc se expresan en Ω / Km y suelen darse en los catálogos de fabricantes de cables.

El valor de la corriente de cortocircuito lcc se obtiene a partir de la fórmula:

$$I_{cc} = \frac{V_{fase}}{Z_{cc}} = \frac{V_L}{\sqrt{3} * Z_{cc}} \quad (1.5)$$

Donde:

V_L = tensión de línea (kV).

Z_{cc} = impedancia de cortocircuito por fase (Ω).

I_{cc} = Corriente de cortocircuito permanente (kA).

1.3.3 Tipos de interruptores.

- **Interruptor de potencia de alta tensión.**

Los interruptores de potencia de alta tensión se utilizan en las redes de suministro de energía eléctrica para unir o separar partes de dichas redes, bien sea en condiciones normales de servicio o en caso de averías. En el caso de producirse avería, el interruptor ha de separar las partes defectuosas de las redes, a ser posible en el mismo instante de producirse. Las redes están vigiladas por relés de protección, que en caso de detectar un cortocircuito envían un impulso de desconexión a los interruptores correspondientes. Es interesante que los relés realicen una protección selectiva, es decir, que eliminen de ser posible solamente la parte de línea comprendida entre dos interruptores. En las maniobras de servicio, las intensidades que han de cortar los interruptores pueden llegar hasta algunos miles de amperes; sin

embargo en las desconexiones por cortocircuito, las intensidades alcanzan valores muy elevados (150 000 A para media tensión). La elección del interruptor para un caso determinado depende principalmente de su potencia de ruptura, que es la mayor potencia de cortocircuito que puede desconectar dicho interruptor y suele expresarse en MVA.

- **Apertura de contactos de un interruptor de potencia.**

En los interruptores de C. A. no se interrumpe la corriente en un momento cualquiera, sino que se aprovecha el hecho de que dicha corriente pasa dos veces por cero dentro de cada período, es decir 100 veces cada segundo para una frecuencia. Si se intenta interrumpir repentinamente una intensidad muy elevada (miles de amperios), se producirían en la red sobretensiones muy elevadas, que además de perjudicar su aislamiento, formarían un arco entre los contactos abiertos del interruptor, anulando así la maniobra de apertura.

- **Interruptores de gas a presión.**

Como medio de extinción, utilizan normalmente aire comprimido depositado en un recipiente de acero, siendo el proceso de extinción independiente de la energía del arco y por tanto, de la corriente que debe interrumpirse. La cámara de ruptura de estos interruptores puede ser de tobera metálica o tobera de material aislante. En ambas, el arco se extiende al interior de una tobera en forma de anillo y es rodeado por el aire comprimido, que fluye a gran velocidad en dirección axial y transversal; normalmente es más utilizada la tobera metálica. Existen además los interruptores que emplean el Hexafluoruro de azufre (SF_6), de gran aplicación en las redes de distribución actualmente.

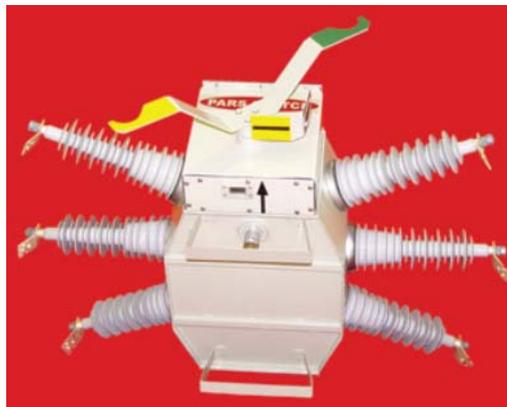


Figura 1.9 Interruptor Pars Switch en SF_6 .

1.3.4 Fusibles.

Los fusibles tienen la misión de interrumpir el paso de la corriente en un circuito al aparecer sobreintensidades o corrientes de cortocircuito. La interrupción se realiza por la fusión de un conductor fusible, que normalmente es hilo de plata, que rodea a un soporte aislante y va soldado a las caperuzas externas. Por el efecto de la arena de cuarzo, la extinción del arco se realiza rápidamente, limitando la amplitud del cortocircuito. Normalmente los fusibles de ALTA TENSIÓN vienen con dispositivos de señalización o disparo para facilitar la detección de averías.

1.4 Normas de diseño.

Las normas relativas al aparellaje en baja tensión cubren de forma general las reglas y disposiciones específicas y comunes. En particular especifican:

- Las definiciones de los equipamientos.
- Sus características.
- La información en el material.
- Condiciones normales de explotación, montaje y transporte.
- Especificaciones de fabricación y funcionamiento.
- Ensayos.

Los interruptores responden a las normas:

IEC 60947-1 (reglas generales) e IEC 60947-3 (reglas específicas interruptores)

Para los interruptores de tipo industrial:

IEC 60699-1 para los interruptores de tipo doméstico.

1.5 Pararrayos.

En la elección de un pararrayos influyen considerablemente las características del tipo de instalación que ha de proteger. Entre los factores que se deben tener en cuenta se pueden citar: altura sobre el nivel del mar, frecuencias anormales, etc.

1.5.1 Pararrayos - autoválvula.

Este aparato se compone básicamente de dos partes, el explosor y la resistencia variable unida a él en serie. Cuando la amplitud de una sobretensión supera la tensión de cebado del pararrayo, saltan arcos en el explosor y cierran el circuito de alta Tensión a tierra a través de las resistencias variables. La resistencia variable está formada por un material conglomerado capaz de variar con rapidez su resistencia eléctrica, disminuyendo su valor cuando mayor sea la tensión aplicada y pasándolo a un elevado valor al reducirse la tensión. Se comporta pues, el aparato como una válvula, cerrada para la tensión nominal del sistema y abierta para las sobretensiones.

- ***Características de pararrayos - autoválvulas.***

La eficacia de un pararrayos estará en función de las siguientes características:

- Tensión nominal o tensión de extinción (VL): es el valor más elevado de la tensión eficaz a frecuencia industrial admisible entre bornes del pararrayos.
- Frecuencia nominal: es el valor de la frecuencia para la que está previsto el pararrayos.
- Tensión de cebado a frecuencia industrial: es el valor eficaz de la mínima tensión que aplicada entre bornes al pararrayos, provoca el cebado de los componentes adecuados del mismo.
- Tensión de cebado a la onda de choque: es el valor cresta de la tensión que aparece antes del paso de la corriente de descarga.
- Tensión residual: es la tensión que aparece entre el terminal de línea y el terminal de tierra de un pararrayos durante el paso de la corriente de descarga.
- Corriente de descarga: es la onda de corriente derivada a tierra por un pararrayos después de un cebado.

Montaje de pararrayos.

Los pararrayos - autoválvulas de Media Tensión (MT), solo pueden ofrecer una protección segura cuando se montan lo más cerca posible de las partes de instalación que han de

protegerse, casi siempre de los transformadores. Es conveniente siempre mantener una resistencia de contacto a tierra lo más pequeña posible.

1.6 Sobretensiones.

Sobretensión es toda tensión que puede poner en peligro la existencia o servicio de una instalación eléctrica. A su vez pueden ser de origen externo o interno.

- ***Sobretensiones externas.***

Tienen su origen en descargas atmosféricas, y una velocidad de propagación próxima a la velocidad de la luz (300000 Km / s). Normalmente las descargas se manifiestan en forma de ondas de frente escarpado, alcanzando su valor medio en el corto espacio de tiempo de $1\mu\text{s}$ (micro segundo) y disminuyendo el valor a cero en unos 100 μs .

Las sobretensiones de origen externo pueden ser de varios tipos

- Descarga directa sobre la línea; son las más importantes.
- Descargas entre nubes próximas a líneas (descarga inductiva).
- Descarga entre líneas y tierra (descarga indirecta).
- El efecto pantalla de las edificaciones (descarga reflejada).

Sobretensiones internas.

Tienen su origen en las variaciones de carga en una red, maniobras de desconexión de un interruptor, formación o cese de un fallo a tierra, corte de alimentación a un transformador en vacío, puesta en servicio de línea aérea o subterránea, etc.

- ***Sobretensiones de maniobra.***

Las principales sobretensiones de maniobra se deben a aperturas de interruptores, fusión de un fusible y desconexión de un transformador que funcione en vacío. Este tipo de sobretensiones, tanto por su larga duración como por su elevada frecuencia (M. F. o A. F.), influyen considerablemente a la hora de la elección de protecciones como el pararrayos.

- **Sobretensiones de puesta a tierra.**

Se consideran solo las que forman parte de fenómenos transitorios producidos durante la puesta a tierra e interrupción de la misma. Los arcos que se producen son muy peligrosos y las sobretensiones pueden alcanzar valores de 3,1 veces la tensión nominal entre fases.

- **Sobretensiones a la frecuencia de servicio.**

Son las originadas en las centrales eléctricas por causa de disminución bruscas de carga en la red que alimentan, al permanecer constante la excitación del alternador, provocando el embalamiento de la turbina. Las sobretensiones alcanzan valores del orden de 1,2 a 1,3 veces la tensión nominal.

- **Sobretensiones de puesta en servicio de líneas.**

La puesta en servicio de una línea, aérea o subterránea (cable), origina una onda estacionaria de corta duración que normalmente se amortigua a lo largo de la red.

1.7 Calidad de energía.

La norma EN-50.160 indica que la calidad de suministro en una red eléctrica se medirá sobre las tres ondas de tensión del sistema trifásico e incluirá los siguientes parámetros:

- Huecos y sobretensiones, medidos en base al valor promedio de tres tensiones. En el caso de baja tensión se toman las tensiones fase neutro y en caso de alta tensión pueden ser tensiones compuestas.

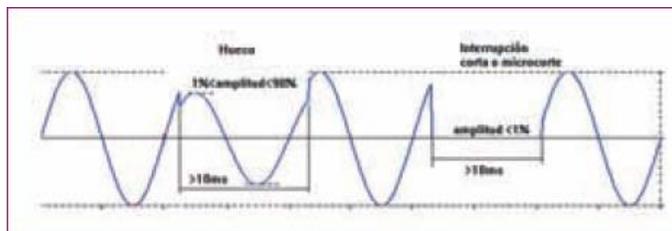


Figura 1.10 Huecos e interrupciones de tensión.

- Calidad de onda, medida por el contenido de armónicos

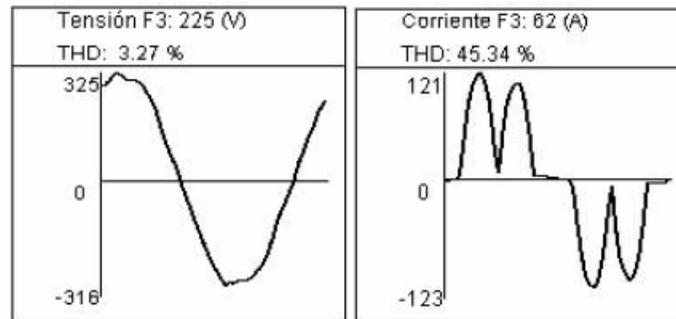


Figura 1.11 Ondas de tensión y corriente deformadas por los armónicos.

- Fluctuaciones de tensión, medidas por el parámetro denominado “flicker”.

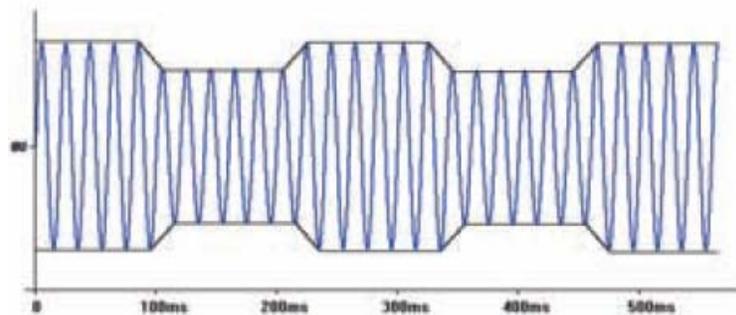


Figura 1.12 Fluctuación de tensión origen del fenómeno de “flicker”.

- Desequilibrio del sistema trifásico, medido por la relación ($V_{inversa}/V_{directa}$) en la descomposición de Fortescue/Stokvis.

En lo referente a armónicos y flicker, las normas IEC-61000-4-7 y 61000-4-15 respectivamente, dan los detalles de como efectuar la medida, pero en lo referente a huecos y sobretensiones no están definidos los intervalos promediado. La norma IEC-61000-30, en fase de borrador, da respuesta a este detalle y define la forma de medir los promedios de tensión como sigue: Se proponen cuatro ventanas o intervalos de observación estándar:

- Ventana base de observación de 200 ms (10 ciclos para 50Hz y 12 ciclos para 60Hz).
- Intervalos muy cortos: Promedios de 3 segundos, observando todos los ciclos
- Intervalos cortos: Promedios y estadísticos 10 minutos.
- Intervalos largos: Promedios y estadísticos 2 horas.

CAPÍTULO 2. Centros de carga.

2.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza la caracterización de la instalación con la determinación de su demanda por centro de carga. Se calculan los parámetros para la posterior selección de los dispositivos de la red.

2.2 Caracterización de la instalación y red existente.

Instalación objeto de estudio.

El área de la planta es un polígono irregular con una superficie total de 772 088 m². Se encuentra situada sobre la superficie minada dentro de los límites de la concesión de investigación geológica Moa Occidental II. Dicha planta tiene acceso desde la vía Planta Moa Nickel S. A.- Planta de Pulpa – Presa Nuevo mundo.

Las obras constructivas son atravesadas por una línea aérea de distribución de 18 km perteneciente al SEN (Sistema Electroenergético Nacional), esta es la encargada del intercambio energético entre el SEN y la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCHE) “Nuevo Mundo”, que enlaza sus 2 MW con la barra de 13,8 kV a 60 Hz de la subestación de 4 MVA Rusky.

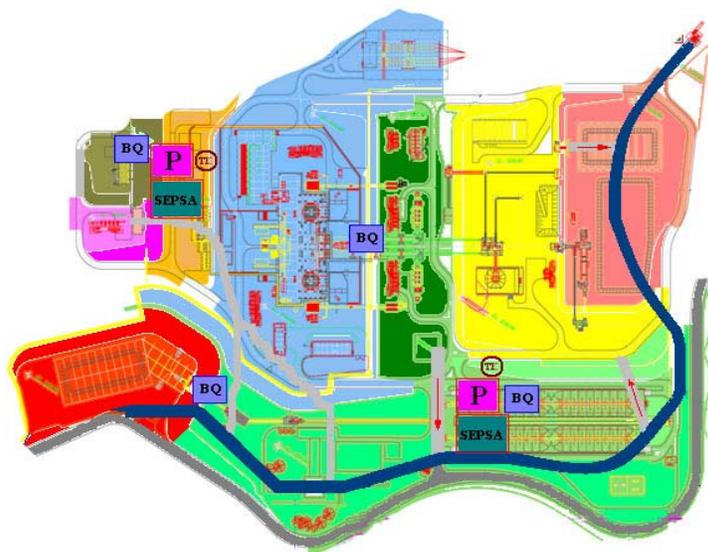


Figura. 2.1 Planta Ferroníquel Minera S A.

Para el control en Obra se dividieron las zonas por plataformas de trabajo y otras zonas de ubicación de canteras y escombreras.

Facilidades temporales y Trabajos preliminares: Comprende las instalaciones provisionales para el personal que labore en la obra; los detalles de estos trabajos se describen mas adelante.

Las facilidades temporales de la Empresa Ferroníquel Minera SA, se ubican a un extremo de la Planta, en ellas se desarrollan las actividades administración, abastecimiento y parqueo de equipos ligeros.

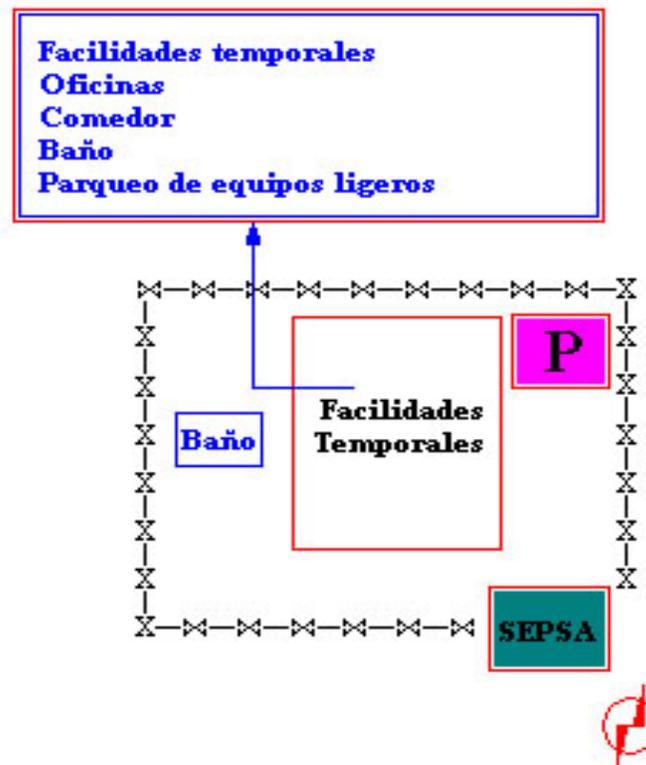


Figura. 2.2 Facilidades temporales.

Facilidades temporales: Comprende los trabajos e instalaciones provisionales para la ejecución de la Obra el cual se divide en los siguientes objetos:

- Comedor Obrero: Comprende un área aproximada para 200 comensales.

- Tanque elevado: Construcción provisional para los servicios de agua potable a la Obra. Se contará con 4 tanques de 2 100 litros, los cuales se conectarán en baterías para el suministro del líquido al comedor y el socio administrativo de facilidades temporales de QC. Además se colocarán tres tanques de esa misma capacidad en los tres parqueos de las subcontratas de Camagüey, Granma y Santiago de Cuba. Se distribuirán tres tanques de 200 galones para agua en los distintos puntos de la obra.
- Oficinas: Comprende la construcción provisional de oficinas para el constructor y contratista de la Obra.
- Redes técnicas: Comprende las instalaciones provisionales para el suministro de agua, corrientes, evacuación de aguas residuales. Los trabajos serán subcontratados en el territorio de Moa. Para el suministro de agua a la Obra se consideran 4 km hasta la toma de agua.
- Baños Ecológicos: Instalaciones provisionales para suplir las necesidades de los trabajadores.
- Garitas para SEPSA. Instalaciones de 6 unidades para los servicios de vigilancia y protección de la Obra.
- Parqueo de equipos: Construcción de plataformas provisionales para parqueos en horarios nocturnos u otras causas. Estos trabajos serán ejecutados por los propios subcontratistas; el parqueo de equipos ligeros será contratado en el territorio de Moa.
- Almacén para la Obra: Colocación de pequeños almacenes metálicos para almacenar los lubricantes, grasas e insumos del Constructor; se destinará un área para vestuario del personal.
- Ponchera: Se considera la construcción de una pequeña nave con tres divisiones para estos fines.
- Caminos provisionales: Comprende los trabajos necesarios para la entrada y salida de equipos al área de la Obra. Se construirán tres accesos (entrada y salida) al área de plataformas, uno en la escombrera (entrada y salida), dos en el préstamo o cantera (entrada y salida) y uno en el depósito de mineral (entrada y salida).
- Cercado perimetral: Comprende los trabajos para la protección del área de oficinas, parqueo de equipos ligeros y almacenes que se utilizarán en la Obra.

Esta línea con un transformador reductor 13.8/0.480 kV, instalado ya por la empresa inversionista servirá para alimentar a los transformadores de cada “Facilidad Temporal” del Proyecto.

Características de la red del SEN (Sistema Electro energético Nacional).

Tensión: 13.8 kV.

Fases. 3 + N.

Frecuencia: 60Hz.

Conexión: Y aterrada.

Transformador de entrada

Fases: 3 + N.

Sn: 750 kVA.

Un: 13.8 kV/480 V AC, 60Hz, conexión Δ/Y .

Sin derivación.

2.3 Estudio de la previsión de cargas (potencia instalada).

Con el objetivo de determinar las magnitudes eléctricas a considerar en el proyecto, para la determinación de la potencia y ubicación de los centros de transformadores, así como también, el dimensionamiento de las diferentes redes, se hace necesario el planteamiento eléctrico de la demanda por objetos de obra.

Se ha tomado como fuente de información el Proyecto de “Organización de Obra” donde se ha hecho la distribución de las áreas constructivas y se han previsto convenientemente los lugares idóneos para la ubicación de facilidades temporales tales como oficinas, baños, parqueos, talleres, comedor, etc.

Los consumidores de Facilidades temporales para este proyecto estarán centralizados en tres grupos fundamentales o centros de carga, los cuales estarán alimentados separadamente por transformadores.

Potencia instalada

CENTRO DE CARGA 1

Tabla 2.1 Facilidades Temporales (Comedor y Parqueo de Equipos 1).

No	Equipo	Consumo (kW/h)	Cant.	Pot Instantánea (kVA)	Tiempo de uso estimado (h/día)	Consumo/día. (kW-h/día)	1F	3F
1	Luminaria 2 X 36 W/h	0,072	64,000	5,120	16,000	73,728	x	
2	Luminaria HS 400	0,400	50,000	22,222	12,000	240,000	x	
3	Aire acondicionado ventana	1,200	25,000	37,500	11,000	330,000	x	
4	Aire acondicionado comedor	15,000	4,000	75,000	10,000	600,000		x
5	Bomba de agua	2,000	2,000	5,333	4,000	16,000		x
6	Mesa caliente	3,000	2,000	6,000	5,000	30,000	x	
7	Refresquera	1,000	2,000	2,222	6,000	12,000	x	
8	Hornilla eléctrica	1,000	1,000	1,000	4,000	4,000	x	
9	Horno MW	1,000	1,000	1,111	4,000	4,000	x	
10	Refrigerador	0,250	1,000	0,313	14,000	3,500	x	
11	Cafetera eléctrica	1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	x	
12	Termo eléctrico	1,000	1,000	1,111	6,000	6,000	x	
13	Impresora láser	0,700	6,000	4,667	3,000	12,600	x	
14	Fotocopiadora	0,700	4,000	3,111	3,000	8,400	x	
15	Estación fija radio	0,100	1,000	0,111	18,000	1,800	x	
16	Cargador de baterías Celular/Radio	0,010	30,000	0,333	1,000	0,300	x	
17	Hielera	0,500	1,000	0,625	24,000	12,000		x
	Totales	28,932				1356,328		
	Demanda máxima.			166,780				

CENTRO DE CARGA 2

Tabla 2.2 Facilidades Temporales Provisionales; Comedor, Ponchera y Parqueo II.

No	Equipo	Consumo (kW/h)	Cant.	Pot Instantánea (kVA)	Tiempo de uso estimado (h/día)	Consumo/día. (kW-h/día)	1F	3F
1	Luminaria 2 X 36 W/h	0,072	20,000	1,600	16,000	512,000	x	
2	Luminaria HS 400	0,400	36,000	16,000	12,000	6912,000	x	
3	Aire acondicionado ventana	1,200	4,000	6,000	11,000	264,000	x	
4	Bomba de agua	2,000	1,000	2,667	4,000	10,667		x
5	Mesa caliente	3,000	2,000	6,000	5,000	60,000	x	
6	Refresquera	1,000	2,000	2,500	6,000	30,000	x	
7	Hornilla eléctrica	1,000	1,000	1,000	4,000	4,000	x	
8	Estación fija radio	0,100	1,000	0,111	18,000	2,000	x	
9	Cargador de baterías Celular/Radio	0,010	3,000	0,030	1,000	0,090	x	
10	Frigorífico	8,100	1,000	9,529	24,000	228,706		x
11	Hielera	0,500	1,000	0,625	24,000	15,000		x
12	Máquina de Soldar MP	30,000	2,000	66,667	10,000	1333,333		x
13	Ponchera	8,000	1,000	8,000	16,000	128,000		x
14	Planta de engrase	2,000	1,000	2,222	16,000	35,556		x
	Totales	57,382				9535,351		
	Demanda máxima			122,951				

CENTRO DE CARGA 3

Tabla 2.3 Facilidades Temporales Parqueo III.

No	Equipo	Consumo (kW/h)	Cant.	Pot Instantánea (kVA)	Tiempo de uso estimado (h/día)	Consumo/día. (kW-h/día)	1F	3F
1	Luminaria 2 X 36 W/h	0,072	10,000	0,800	16,000	128,000	x	
2	Luminaria HS 400	0,400	60,000	26,667	12,000	19200,000	x	
3	Aire acondicionado ventana	1,200	4,000	6,000	11,000	264,000	x	
4	Bomba de agua	2,000	1,000	2,667	4,000	10,667		x
5	Impresora laser	0,700	1,000	0,778	3,000	2,333	x	
6	Fotocopiadora	0,700	1,000	0,778	3,000	2,333	x	
7	Estación fija radio	0,100	1,000	0,111	18,000	2,000	x	
8	Cargador de baterías Celular/Radio	0,010	5,000	0,056	1,000	0,278	x	
9	Máquina de Soldar MP	30,000	3,000	100,000	10,000	3000,000		x
10	Ponchera	8,000	2,000	16,000	16,000	512,000		x
11	Planta de engrase	2,000	1,000	2,222	16,000	35,556		x
	Totales	45,182				23157,167		
	Demanda máxima			156,078				

Para un total de 401,23 kVA.

Con los resultados obtenidos arribamos a la conclusión de que el transformador instalado por la empresa inversionista sule las necesidades energéticas de las “Facilidades Temporales” del proyecto.

Partiendo de los datos de las cargas que serán instaladas definitivamente se procede a buscar los parámetros que componen la red.

Nota: Ya que el proyecto será ejecutado en sistema de dobles turnos de trabajo con jornadas extendidas hasta las 10:00 pm, implica que el factor de simultaneidad ks se tome aproximadamente igual a la unidad.

2.4 Parámetros para la selección de los dispositivos de la red.

Tabla 2.4 Potencia instalada por centro de carga.

No	Descripción	Potencia Instalada (kVA)	Distancia (m)
1	Centro de Carga 1; Oficinas, Comedor y Parqueo I	166,7797	455
2	Centro de Carga 2; Provisionales; Comedor, Ponchera y Parqueo II.	122,9511	250
3	Centro de Carga 3; Parqueo III.	156,08	750

Teniendo en cuenta las potencias de los diferentes centros de carga se determinan las corrientes para la selección de los conductores.

Para el Centro de Carga 1:

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

Donde:

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

U → es la tensión nominal (en volt).

$$I = \frac{166.7797 * 10^3}{480 * \sqrt{3}} = 200.8 \text{ A}$$

Para el Centro de Carga 2:

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

$$I = \frac{122.9511 * 10^3}{480 * \sqrt{3}} = 148.06 \text{ A}$$

Para el Centro de Carga 3:



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

$$I = \frac{156.08 * 10^3}{480 * \sqrt{3}} = 187.96 \text{ A}$$

Partiendo de los datos de las tablas 2.1, 2.2 y 2.3, se determina la potencia del transformador de entrada, teniendo en cuenta un $k_s=0.9$.

$$\begin{aligned} S_i &= \sum S_{ccm\acute{a}x} * k_s = k_s * (S_{cc1mx} + S_{cc2mx} + S_{cc3mx}) \\ &= 0.9 * (166.7797 + 122.9511 + 156.08) \\ &= 401.23 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Y seguidamente la de cada centro de carga.

$$\begin{aligned} S_{cc1} &= k_s * S_{cc1mx} \\ &= 0.9 * 166.7797 \\ &= 150.10 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{cc2} &= k_s * S_{cc2mx} \\ &= 0.9 * 122.9511 \\ &= 110.66 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{cc3} &= k_s * S_{cc3mx} \\ &= 0.9 * 156.08 \\ &= 140.47 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Capítulo # 3 Diseño e Implementación del Sistema.

3.1 Introducción.

En este capítulo se hará el cálculo y diseño del sistema a implementar, cumpliendo con las exigencias y normativas técnicas y asumiendo las nuevas circunstancias en que el país ejecuta el Proyecto donde se ha orientado por la máxima dirección del gobierno cubano la sustitución a toda costa de importaciones y se ha potenciado el uso de materiales y equipos existentes en almacenes dentro del país.

3.2 Diseño de la red de suministro.

Según el Anexo 1 “Proyecto de Ejecución de Obra”, el cual tiene carácter mandatorio, se pueden apreciar las distancias que separan los tres centros de carga, donde se montarán las “Facilidades Temporales” del transformador de entrada.

1. Oficinas, Comedor y Parqueo I; 455 m.
2. Provisionales; Comedor, Ponchera y Parqueo II; 250 m.
3. Parqueo III; 750 m.

Acorde a las condiciones reales del proyecto, valorando que las obras constructivas se irán ejecutando escalonadamente y que un porcentaje elevado de la carga instalada está constituida por alumbrado, se avizoran dos variantes fundamentales como esquemas de distribución a pie de obra las cuales se describen haciéndose a su vez una valoración técnico-práctica de cada una partiendo de los resultados obtenidos del capítulo precedente:

Variantes de Distribución Energética.

Variante 1:

Alimentación a 220/110 V a través de un transformador único.

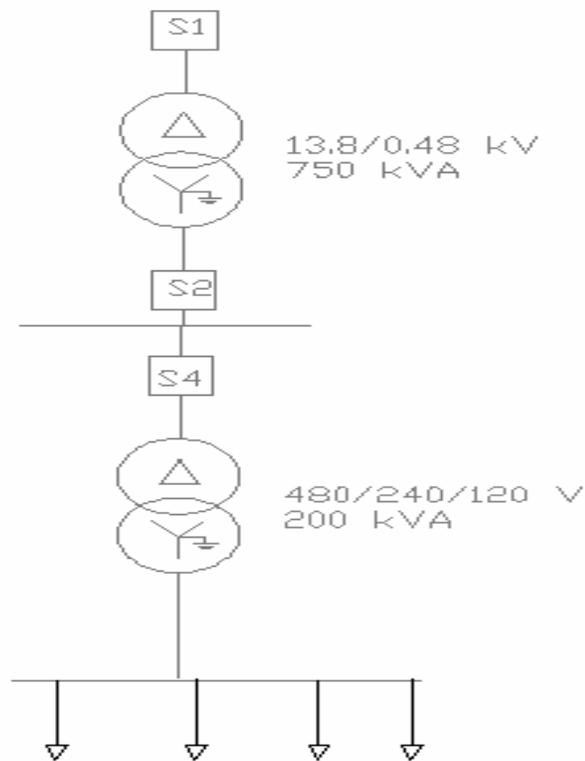


Figura 3.1 Esquema Monolineal. Variante 1.

Conductores:

$$S = (\sqrt{3} * l * I * FP) / \gamma * \Delta U$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * FP$$

$$I = P / (\sqrt{3} * U * FP)$$

Donde:

S: Área de la Sección transversal del Conductor, mm².

l: Longitud de la Línea, m

γ : Conductividad del cobre 56

ΔU : 11.5 V; NC.

I: Corriente de línea, A

Tabla 3.2 Sección de los conductores por centro de carga.

Carga Instalada	kVA	L (m)	I (A)	S (mm ²)
Centro de Carga 1	166,7797	455,00	465,72	512,32
Centro de Carga 2	122,9511	250,00	343,33	207,52
Centro de Carga 3	156,08	750,00	435,84	790,29

Esta variante no es aplicable debido a las grandes áreas de las secciones transversales de los cables que habría que utilizar transportando energía a tan bajo voltaje y a tan grandes distancias.

Variante 2:

Distribución a 480V a través de 3 transformadores ubicados en los centros de carga fundamentales de las facilidades temporales.

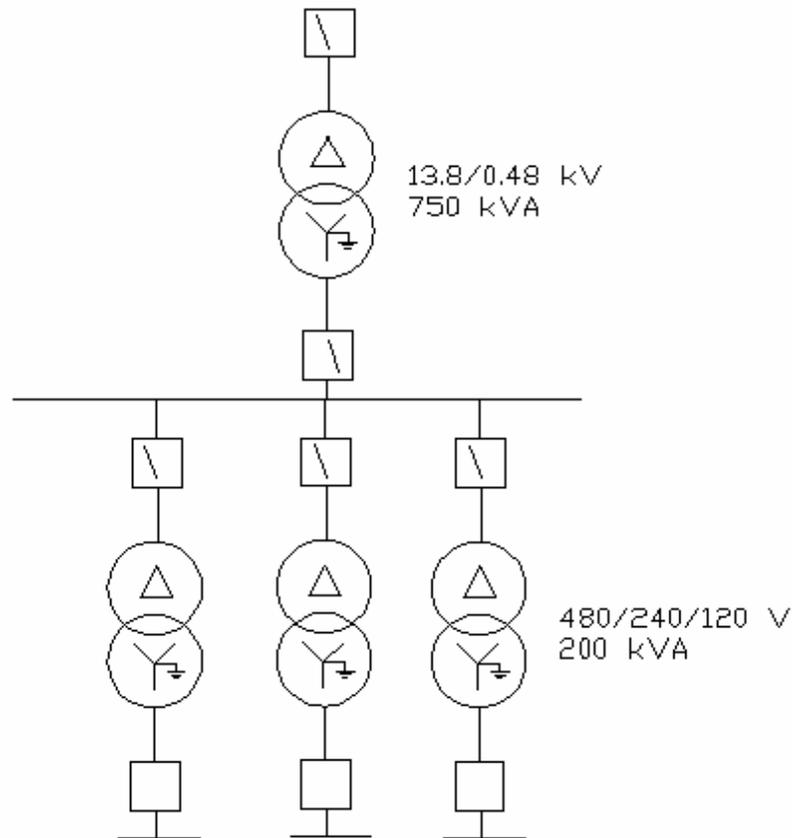


Figura. 3.2 Esquema Monolineal. Variante 2.

Conductores:

$$S = (\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot FP) / \gamma \cdot \Delta U$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot FP$$

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot FP)$$

Donde:

S: Área de la sección transversal del conductor, mm²

l: Longitud de la Línea, m

γ: Conductividad del cobre 56

ΔU: 11.5 V, NC

I: Corriente de Línea, A

Tabla 3.3 Sección de los conductores por centro de carga.

Carga Instalada	kVA	L (m)	I (A)	S (mm²)
Centro de Carga 1	166,7797	455,00	232,86	128,08
Centro de Carga 2	122,9511	250,00	171,67	51,88
Centro de Carga 3	156,08	750,00	217,92	197,57

Atendiendo a los resultados obtenidos hasta ahora, esta es la variante a implementar; debido a que las áreas de las secciones transversales de los conductores están acorde a los estándares del mercado y en la práctica son muy utilizadas.

3.3 Selección de los dispositivos de la red.

Acorde al esquema monolineal de la “Variante 2”, Figura 3.2, se deben seleccionar las protecciones de los alimentadores S2, S4, S5 y S6 que son los encargados del suministro eléctrico a las facilidades temporales del la contratista QC S.A.

Selección de los transformadores:

Como ha sido expuesto, se ha seleccionado el factor de demanda igual a 0,9, esto responde a que un elevado porcentaje de las cargas son de alumbrado y a las jornadas de dobles turnos para las que fue concebido este proyecto, o sea en el horario de la noche estarán conectados a capacidad nominal el 90 % de los equipos eléctricos del proyecto.

$$S_i = FD * CI$$

Tabla 3.4 Demanda y Potencia de transformador por facilidad temporal.

Objeto	S (kVA)	Pot. Transformador (kVA)
Dem 1	166,7797	150,10 kVA
Dem 2	122,9511	110,66 kVA
Dem 3	156,08	140,47 kVA

Del estudio de carga y cálculo de la Demanda se han obtenido los niveles de energía a suplir por cada uno de los transformadores a instalar para el suministro de las cargas previstas.

TRANSFORMADORES:

En la Unidad Presupuestada Inversionista “Las Camariocas”, fueron ubicadas disponibles suficientes transformadores cuyas características se expresan a continuación y están acorde a las necesidades de las facilidades temporales:

1. U: 480/230/120 V.
2. Sn: 200 kVA.
3. Conexión: Δ/Y .

Con la utilización de estos transformadores se suplirán las necesidades energéticas de las empresas constructoras en esta etapa del Proyecto, con el inconveniente de que en los

horarios diurnos los mismos operarán con rendimientos relativamente bajos. La mayor de las demandas solo representa el 75.05 % de la capacidad de distribución del transformador.



Figura 3.3 Transformador para facilidades temporales.

Este tipo de transformador es el que se utiliza para reducir las tensiones a niveles de baja tensión para la distribución de potencia principalmente en áreas metropolitanas (edificios públicos, oficinas, subestaciones de distribución) y para aplicaciones industriales.

Para el transformador principal se escoge un transformador en aceite de 750 kVA, potencia muy superior a la demandada, pero se tiene en cuenta el crecimiento de la carga con la dinámica del proyecto.



Figura 3.4 Transformador principal.

Datos nominales:

—500, **750**, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,750, 5,000, 7,500,
10,000 kVA

—65°C rise Standard

—55°/56°C rise optional

Datos nominales de alta tensión.

—2,400, 4,160, 7,200, 12,000, 12,470, 13,200, **13,800**, 22,900, 34,500

—BIL (kV) 45 - 200

Datos nominales de baja tensión.

—208, **480**, 600, 2,400, 4,160

—BIL (kV) 30 - 60

—Taps disponibles con todos los voltajes.

Aceite del transformador.

—Oil, Silicone, R'Temp, Fluidos a temperatura ambiente.

Haciendo uso del programa EASY POWER 8.0, se realiza el cálculo de las lcc en cada uno de los nodos de carga.

Tabla 3.5 Corrientes de cortocircuito.

No	Nodo	Valor lcc
1	T1: Secundario de Transformador de Entrada	21,6 KA
2	T2: Secundario	6,5 KA
3	T3: Secundario	6,5 KA
4	T4: Secundario	6,5 KA

lcc: Corriente de cortocircuito.

Selección de los Interruptores:

Partiendo de la base de que el sistema eléctrico de distribución es “TT”; conductor neutro y tierra son comunes y conectados sólidamente a tierra, y de los valores de lcc obtenidos se

pueden seleccionar las protecciones, las cuales estarán compuestas por interruptores automáticos (50/51).

Tabla 3.6 Interruptores automáticos.

No	Nodo	Tipo Interruptor
1	S2	NS630H-STR23-630
2	S4	EZC250H-TM Fixed
3	S5	EZC250H-TM Fixed
4	S6	EZC250H-TM Fixed

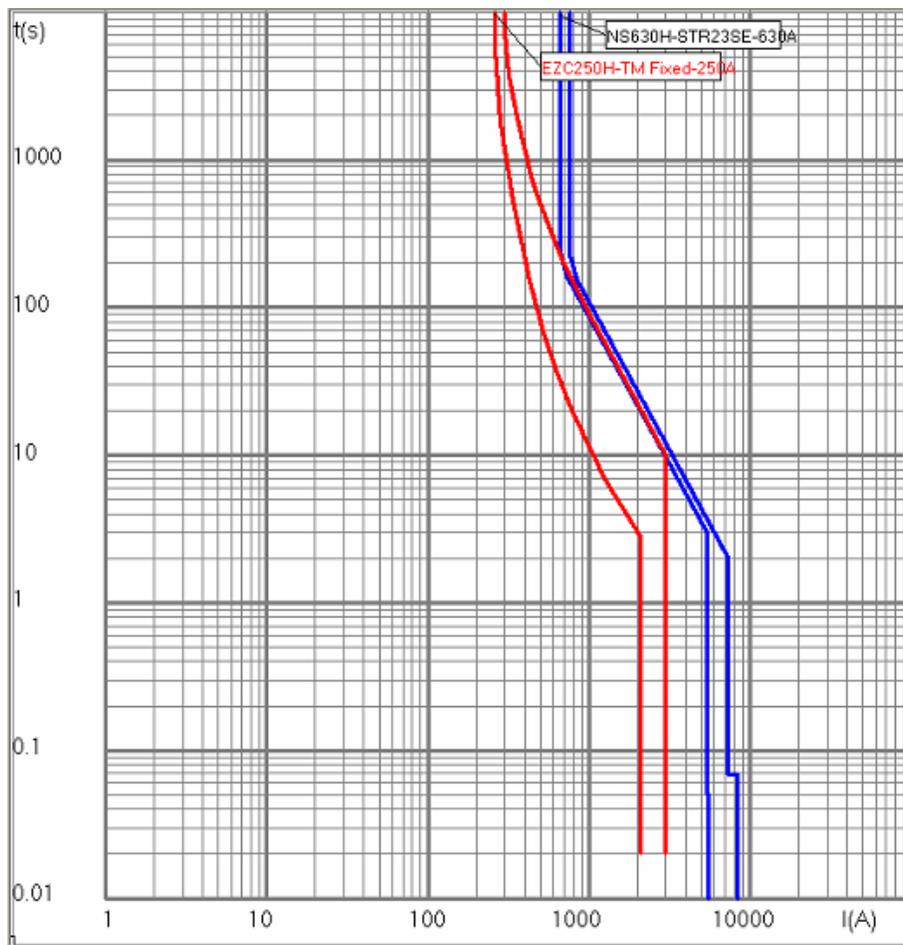


Figura. 3.5 Comparación de curvas de disparo de los desconectivos.

En los almacenes de COPETXEL MOA, se ubicaron los interruptores de caja moldeada, fabricación Scheneider Electric.

Ingeniería de diseño de la PGD –pizarra de distribución general-.

- **Denominación**

Suministro Eléctrico Facilidades Temporales FM SA.

- **Alcance**

Diseño de Pizarra General de Distribución.

- **Base para la elaboración**

- Necesidad de acometer el proyecto.
- Esquema Monolineal Variante II.

- **Requisitos técnicos**

Armario eléctrico metálico Prisma Plus G, IP 55, 480 V, 630 A, Icc 21,6 KA, esquema TT, una Acometida de entrada y cinco salidas de 200 A cada una; todas con protección magnetotérmica 50/51.

- **Prestaciones**

Los paneles metálicos Prisma Plus G son de construcción funcional, formados por conjuntos de aparamenta que abarcan todos los elementos mecánicos y eléctricos que contribuyen a la ejecución de una Unidad Funcional, interconectadas eléctricamente para la realización de sus funciones.

Características Específicas de la PGD

Tabla 3.7 Especificaciones de la Pizarra General de distribución.

Equipo	Pizarra General de Distribución
Corriente Nominal (A)	630
Cortocircuito (kA)	21,6
Grado de Protección (IP)	55
Voltaje Fuerza (V)	480
Tipo de Envolvente	PRISMA P PLUS Sistema G
Ancho (mm)	900
Altura (mm)	1375
Profundidad (mm)	180

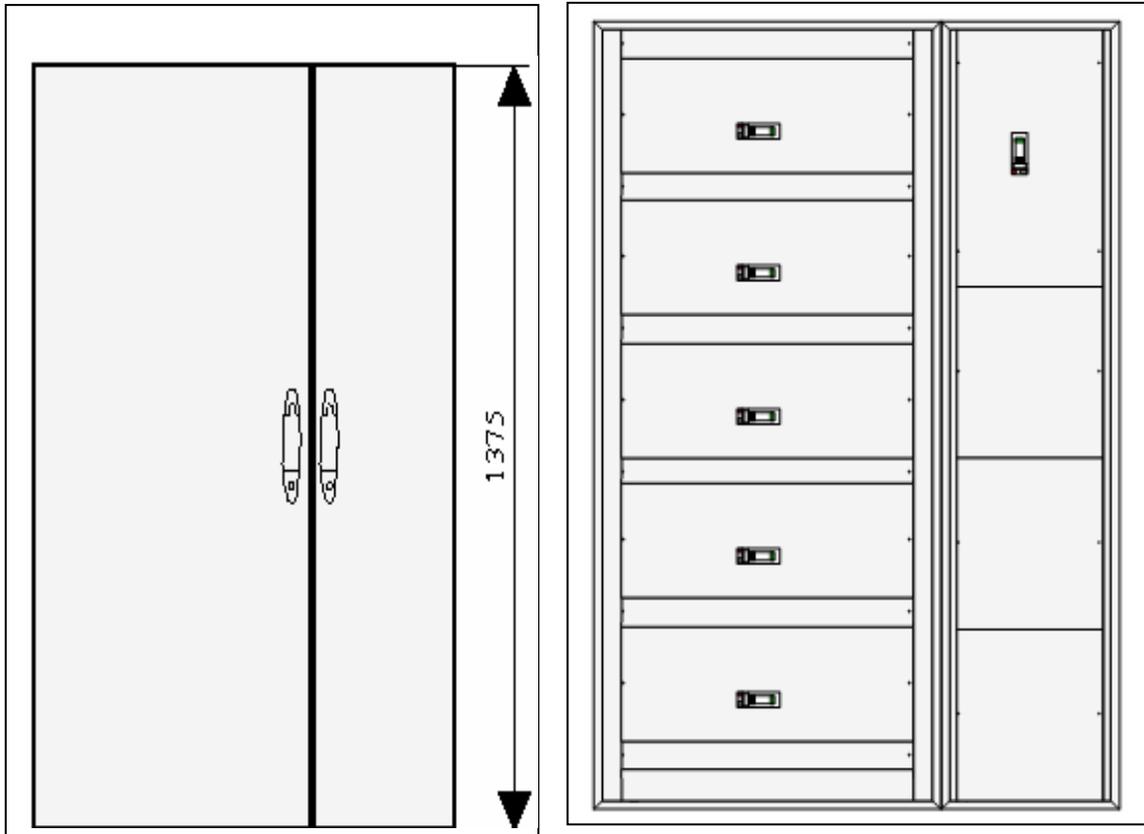


Figura 3.6 Cuadro Eléctrico Prisma Plus G (Schneider Electric).

Selección de conductores.

Partiendo de la corriente determinada para cada centro de carga en capítulo anterior, se puede plantear que los conductores adecuados para la alimentación de los clientes a partir de cada transformador son:

Tabla 3.8 Conductores por centro de carga.

Centros de carga	Corriente de trabajo (A)	Sección del conductor	Tipo de conductor
1	200.8	53.5	EN70: XTMUV+ 90° C 1000 V
2	148.1	33.6	EN68: XTMUV+ 90° C 1000 V
3	188	42.4	EN69: XTMUV+ 90° C 1000 V

Los multiconductores XTMUV+ son recomendados para ser usados en circuitos de alimentación y distribución de subestaciones, instalaciones comerciales e industriales, al aire

libre o subterráneo, en lugares secos y húmedos y en aplicaciones similares de cualquier especie.

El material de aislamiento posee excelentes propiedades eléctricas, tales como alta resistencia y baja constante dieléctrica, lo que trae consigo una disminución de las pérdidas, así como excelente resistencia a la humedad. Sus temperaturas de operación y por lo tanto su capacidad de corriente, en condiciones de funcionamiento normal, emergencia y cortocircuito, son superiores a los conductores de aislamiento de polietileno normal y PVC. El PVC de su cubierta le confiere excelentes propiedades mecánicas, resistencia a la intemperie y luz solar, así como retardo a las llamas de un incendio.

El uso del conductor neutro reducido al 50 % es aplicable a sistemas con una corriente de desequilibrio estimado inferior a 50 % de la corriente de fase.

Características técnicas.

Temperatura de servicio: 90 °C, lugares secos o húmedos.

Temperatura de emergencia: 130 °C.

Temperatura de cortocircuito: 250 °C.

Tensión de servicio: 1 000 V.



CABLES DE BAJA TENSION HASTA 1KV
XTMU V+ 90°C 1000V

Código Producto	Conductor Fase (3)		Conductor Neutro (3)		Espesor Aislación mm	Diámetro Total mm	Peso Total kg/km	Capacidad Máx de Corriente [A]	
	Calibre AWG MCM	Sección Nominal mm ²	Calibre AWG MCM	Sección Nominal mm ²				Ducto Enterrado	Aire Libre
								T. Amb. 20°C	T. Amb. 30°C
EN68	2	33.6	8	25	0.9	23.3	1,436	143	155
EN69	1	42.4	8	25	1.0	26.2	1,734	162	178
EN70	1/0	53.5	8	25	1.0	28.6	2,088	181	204
EN71	2/0	67.4	7	32	1.1	31.8	2,605	210	240
EN72	3/0	85.0	5	50	1.1	34.7	3,381	241	284
EN73	4/0	107	5	50	1.2	38.7	4,044	276	330
EN74	250	127	4	63	1.2	39.5	4,999	303	368

Figura. 3.5 Catálogo COCESA.

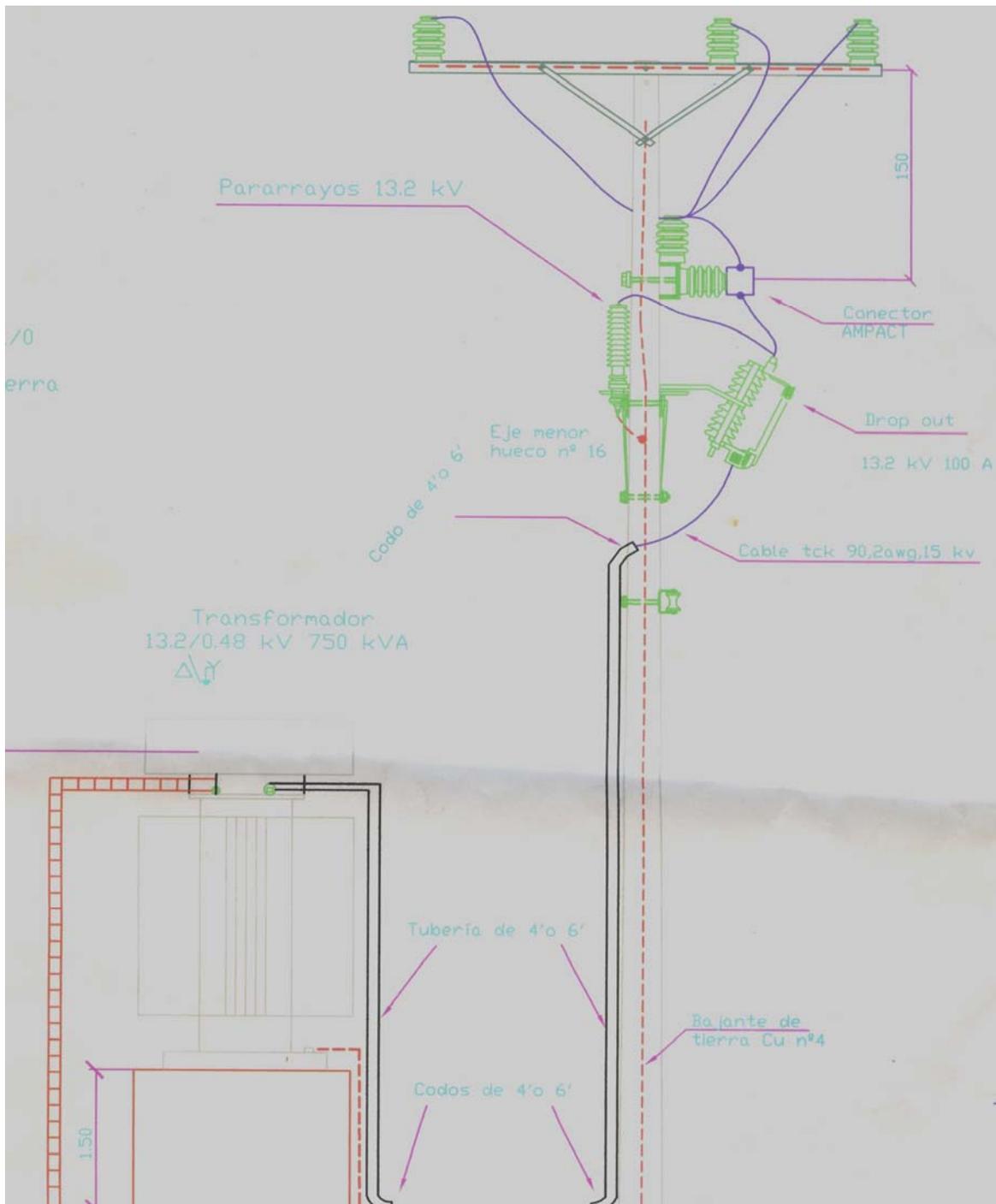


Figura 3.7 Ubicación de transformador principal.

3.4 Valoración Económica.

Costo del equipamiento:

Tabla 3.8 Listado de Materiales.

LISTADO DE MATERIALES		
No	Item	Cantidad
1	Proyector Halógeno 1000 W, IP 55, 220 V	20 U
2	Lum 250 W Hg, 220 V	100 U
3	Lum 2 x 36 W, 220 V	50 U
4	Cable de Cobre EN71 2/0	1500 m
5	Interruptor Aut 50 Ag	20 U
6	Interruptor Aut 20 A	20 U
7	Caja p/ conexiones 500 x 500 x 200	20 U
8	Perfil DIN Galvanizado	10 Tiras
9	Expansión plástica 8 mm c/tornillo	1000 U
10	Tape plástico 600 V	100 Rollos
11	Cinta p/ amarrar cables 100 mm	1000 U
12	Toma corriente doble esp plana	50 U
13	Espiga plana	50 U
14	Transformador trifásico 480/230/110, 200 KVA	3 U
15	Armario eléctrico metálico sobre pared, IP 55, 480 V, 630 A, Icc 20 KA, esquema TT, una Acometida de entrada y cinco salidas de 200 A cada una; todas con protección magnetotérmica 50/51 .	1 U

Precio total: 87 025 \$ CUC.

Consumo energético:

Total 15 Meses: 75 254,4 \$ CUC.



ACORTAMIENTO DEL PLAZO DE EJECUCION DE LA OBRA.

El beneficio estimado por acortamiento del plazo de ejecución de 25.35 meses a 15 meses, que reduce los gastos de operaciones, transporte, alimentación y otros gastos.

Se tuvo en cuenta para el doble turno el rendimiento ó la afectaciones que se producen en el horario nocturno en el cumplimiento de las normas al 100%; producido en primera instancia por la micro localización, la topografía o relieve de la Obra, trabajo de equipos mineros fuera de camino (Camiones de 40 t y otros equipos pesados) de la fabrica Pedro Soto Alba en la misma área, el microclima existente en la zona, existencia permanente de neblina y rocío.

Este beneficio ascendente a **21,38 Millones CUC**; esta proyección se sustenta por intensificar el ritmo de la obra. Antes de aplicar el sistema la obra avanza 38937.60 horas mensuales y con el sistema 62300.16 horas para un incremento de 37.5%.



Conclusiones Generales.

El trabajo realizado ha cumplido con los objetivos trazados lográndose:

1. Elaborar un marco teórico con las bases para el estudio de las redes de distribución.
2. Identificar las cargas de las facilidades temporales.
3. Calcular los parámetros de la red de suministro.
4. Evaluar las variantes de alimentación a aplicar para el diseño de la red de suministro de las facilidades temporales.
5. Seleccionar los componentes de la red de suministro eléctrico.
6. Realizar la ingeniería de diseño de la PGD (Pizarra General de Distribución).
7. Diseñar el esquema de distribución para la ejecución del proyecto.



Recomendaciones

1. Simular en softwares profesionales la red diseñada.
2. Realizar el análisis de calidad de energía para la red definitiva.

Bibliografía

1. ABB Power Technology Catalog. Germany, 2004.
2. Conductores Eléctricos COCESA. Catálogo de Cables. Chile, 2001.
3. Corcoles López, Felipe, Joaquim Pedra I Duran, Miguel Salichs I Vivancos. Departamentd Enginyeria Eléctrica, (E.T.S.E.I.). Barcelona Universitat politécnica de Catalunya.
4. Feodorov, AA. Rodríguez López. Suministro eléctrico de empresas industriales, Editorial pueblo y educación.1980.
5. Manual Switchgear, 10 ma edición, ABB 2000.
6. Merlin Gerin. CT Centros de transformación MT/BT, / 2004.
7. Merlin Gerin. CT Guía de Montaje Prisma Plus G – Hasta 630 A -, / 2001.
8. Merlin Gerin. CT Protección Magneto térmica y diferencial Multi 9, / 2001.
9. Merlin Gerin. CT 113, Protecciones de máquinas y redes industriales, / 1991.
10. Merlin Gerin. CT 145, Estudio térmico de los cuadros eléctricos, / 2000.
11. Merlin Gerin. CT 150, Evolución de los interruptores automáticos de BT, / 1998.
12. Merlin Gerin. CT 154, Las técnicas de corte de los interruptores automáticos de BT, / 2001.
13. Merlin Gerin. CT 155, Las redes de distribución pública de MT en el mundo, / 2001.
14. Merlin Gerin. CT Aparamenta eléctrica en Baja Potencia. 2001.
15. Merlin Gerin. CT 204 Protecciones de Baja Tensión, Octubre de 2004.
16. Reglamento Electrotécnico Cubano REC, Edición 1.0/ 2008.
17. Stevenson Willian D., Grainger John J. Análisis de sistemas de potencia. México, 1995.



18. Soldatkina, L A. Redes y sistemas Eléctricos. Moscú 1986.

Sitios Web

1. <http://www.elprisma.com>.
2. http://www.emgister.com/redes_y_sistemas_distribucion.htm.
3. <http://www.ffdfd.com>.
4. <http://www.google.com/translate/distributionsystems.htm>.
5. http://www.wikipedia.org/wiki/electricidad/generacion_a_pequeña_escal.htm.

Anexos



Figura 1. Actividad minera. Proyecto Ferroníquel.