

37
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE LA LINEA DE TRANSMISION PARA
ALIMENTAR LA TERMINAL MARITIMA AREA
ORIENTE DESDE EL COMPLEJO MORELOS EN
PAJARITOS, VER.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
p r e s e n t a

DANIEL CRUZ VILLALOBOS



Director de Tesis: Ing. DANIEL BECERRIL ALBARRAN

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1989



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido.		Pag.
Capítulo 1	Introducción.	3
Capítulo 2	Bases de diseño.	
2.1	Generalidades.	14
2.1.1	Confiabilidad.	14
2.1.2	Seguridad.	14
2.1.3	Flexibilidad.	15
2.1.4	Facilidad de expansión.	15
2.1.5	Simplicidad.	15
2.1.6	Economía.	15
2.2	Criterios específicos del proyecto.	15
Capítulo 3	Cálculo eléctrico de los conductores.	
3.1	Descripción de cables de energía.	20
3.1.1	Elemento conductor.	20
3.1.2	Pantalla semiconductor sobre el conductor.	23
3.1.3	Aislamientos.	25
3.1.4	Pantalla semiconductor sobre el aislamiento.	27
3.1.5	Pantalla metálica.	28
3.1.6	Cubierta exterior.	29
3.2	Selección del conductor.	31
3.3	Cálculo por capacidad de conducción.	32
3.4	Cálculo por caída de tensión.	38
Capítulo 4	Cálculo del nivel de corto circuito.	

	Pag.
4.1 Bases teóricas.	46
4.2 Método.	52
4.3 Memoria de cálculo.	55
4.4 Comprobación de los conductores por el criterio de corto circuito.	60
4.5 Selección del interruptor.	62
Capítulo 5 Canalizaciones e instalación.	
5.1 Trazo y localización.	63
5.2 Ductos subterráneos.	63
5.3 Registros.	66
5.4 Instalación de los conductores.	69
5.4.1 Tensión máxima de jalado.	70
5.5 Terminales.	74
5.6 Empalmes.	77
5.7 Puesta a tierra.	81
Capítulo 6 Pruebas de aceptación en campo.	
6.1 Generalidades.	82
6.2 Pruebas eléctricas a cables.	83
6.2.1 Prueba de resistencia de aislamiento	83
6.2.2 Prueba de potencial aplicado.	92
6.2.3 Analisis de resultados.	103
6.3 Pruebas eléctricas a interruptores.	103
6.3.1 Prueba de resistencia de aislamiento	103
6.3.2 Prueba de potencial aplicado.	107
6.3.3 Prueba de resistencia de contactos.	111
Conclusiones.	114
Bibliografía	116
Apéndice	120

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Actualmente Petroleos Mexicanos por la magnitud de sus actividades, volumen de sus ventas e ingresos, así como su generación de empleos es considerado uno de los puntales de la economía mexicana, impulsando el desarrollo industrial del país a través de su política de expansión y crecimiento, con el objeto de explotar, transformar y distribuir de la manera más eficaz el petróleo y los productos derivados de petroquímica básica.

Para realizar de manera adecuada y lograr la utilización óptima de sus recursos se vé obligado a crear la infraestructura que le permita continuar con sus lineamientos generales.

Uno de los soportes más importantes dentro de la organización de Petroleos Mexicanos es la Subdirección de Proyectos y Construcción de Obras, encargada del diseño, construcción, administración de las obras de infraestructura y bienestar social necesario dentro de las actividades de la empresa.

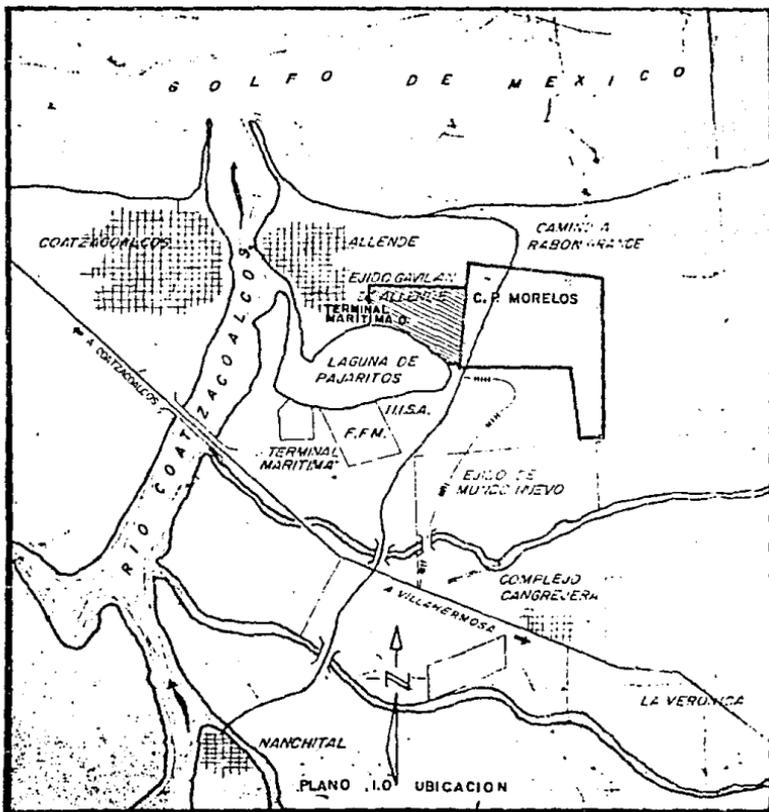
La diversidad de las obras que ejecuta la subdirección es muy extensa ya sea por su género ó su tamaño, tales como; refinerías, oficinas administrativas, hospitales, complejos petroquímicos, escuelas, plataformas marinas, terminales de venta marítimas y terrestres, de los cuales podemos mencionar: El Complejo Marino Akál, La Terminal Marítima - Pajaritos, La Torre Ejecutiva de Petroleos Mexicanos y El Sistema Nacional de Gas.

Recientemente una de las obras encargadas a la Subdirección de Proyectos y Construcción de Obras de mayor trascendencia por su magnitud e influencia que tendrá dentro de la industria nacional, el cual es imprescindible mencionar por el monto de su inversión es: El Complejo Petroquímico "Morelos" para el cual, también se proyectaron obras de infraestructura como el acueducto para suministro de agua desde la presa La Cangrejera y la terminal marítima Area Oriente.

El Complejo Petroquímico Morelos es el resultado de la política de expansión de Petroleos Mexicanos con el propósito de satisfacer la demanda de los productos de Petroquímica básica, que han tenido que importarse para satisfacer la demanda interna en el consumo nacional, como es el etileno que en consideración lo anterior y posterior a un estudio de factibilidad se decidió la construcción de este nuevo complejo petroquímico.

Se encuentra localizado a 14 Km., al Este de Coatzacoalcos sobre la derivación a Babón Grande en la carretera 180 Coatzacoalcos - Villahermosa en el Ejido "Pajaritos". Sus cercanías son: Al Norte con el Ejido "El Gavilán de Allende" al Sur con el Complejo Petroquímico "Pajaritos", La Terminal Marítima y La Colonia de Empleados Pemex - Pajaritos, al Sureste con el Complejo Petroquímico la Cangrejera por el Este colinda con el Ejido el Colorado y la Presa de Yeso - Fertimex, al Oeste con la laguna de Pajaritos y la Terminal Marítima Area Oriente.

La superficie que abarca el complejo es de 370 Has. pertenecientes al municipio de Coatzacoalcos, localizado geográficamente



camente a los 18° 08' 56'' latitud Norte y 94° 24' 40'' longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, con una altura de - 15 m.s.n.m.

Condiciones Atmosféricas.

a).-- Temperatura Ambiente.

Temperatura Máxima Extrema	42°C
Temperatura Mínima Extrema	10°C
Temperatura Promedio Máxima	35°C
Temperatura Promedio Mínima	21°C
Temperatura Promedio	28°C

Para efectos de diseño se consideraron 26°C y 12°C como máxima y mínima respectivamente.

La temperatura del terreno en promedio es de 30°C.

b).-- Precipitación Pluvial.

Horaria Máxima	90 mm.
Máxima en 24 Hrs.	360 mm.
Promedio Anual	3 100 mm.

c).-- Vientos.

Dirección de los Vientos Dominantes	N, NO a S, SE.
Dirección de Vientos Recinantes.	N, NE a S, SO.
Velocidad de los vientos.	20 - 30 Km/Hr.
media.	30 Km/Hr.
máxima.	200 Km/Hr.

Para efecto de diseño se considero de 240 Km/Hr.

d).-- Humedad.

Máxima	95%
Mínima	50%
Media	82%

e).- Atmósfera.

Presión Atmosférica.

760 mm. Hg.

Salina con Brisa Marina
altamente corrosiva con
disolución de las Sig.,
sustancias.

SO₂, SO₃, NaCl

El Complejo Petroquímico "Morelos", estará integrado por --
once plantas de proceso, una planta de Pretratamiento de -
Agua, una planta de Tratamiento de Agua y una planta de Ge-
neración de Energía y Vapor.

La función de las plantas de proceso es obtener a partir de
gas natural y naftas primarias, productos derivados básicos
como polietileno, etileno, polipropileno, óxido de etileno,
acrilonitrilo, etc.

La planta de Pretratamiento de agua abastecerá al Complejo-
para las torres de enfriamiento y servicios sanitarios, la-
planta de Tratamiento de agua alimentara las calderas y el
ciclo de vapor con una capacidad de 252 L/Seg.

La planta de Generación de Energía se encargará de generar-
toda la Energía Eléctrica y Vapor requerido por las plantas
de proceso, disponiendo de:

- 7 Calderas de vapor a 40 Kg/Cm².

3 Calderas de vapor a 60.47 Kg/Cm².

3 Turbogeneradores de vapor

1 Turbogenerador de gas

El sistema Eléctrico del Complejo Petroquímico Morelos es -
muy extenso y contempla todos los aspectos de la Energía -
Eléctrica.

A).- Generación.

La generación será por medio de tres turbogeneradores de vapor y un emergente de gas de 60 M.V.A. y 35 M.V.A., respectivamente que alimentarán las siguientes subestaciones primarias.

S.E	INSTALACIONES Y PLANTAS QUE REALIMENTA	CAPACIDAD
1	Calderas y Casa de Fuerza.	15,461 K.V.A.
2	Calderas y Casa de Fuerza.	10,619 K.V.A.
3	Planta Óxido de Etileno, Oxígeno, Propileno.	16,112 K.V.A.
4	Acetaldehido, Fosa de Lastre, Torre de Enfriamiento.	12,787 K.V.A.
5	Planta Polipropileno.	6,795 K.V.A.
6	Almacenes, Talleres, Ed. Administrativos, G.P.Q.	15,225 K.V.A.
7	Planta Polietileno.	12,514 K.V.A.
8	Torre de Enfriamiento.	14,000 K.V.A.
9	Fraccionadora, Butadieno, Etileno, - Acrilonitrilo.	15,715 K.V.A.
10	Area de Tanques de Almacenamiento, - Casa de Bombas 1, Casa de Bombas 2.	14,152 K.V.A.
11	Pretratamiento y Tratamiento de Agua Almacenamiento de Agua.	12,072 K.V.A.
13	Terminal Marítima Area Oriente.	37,000 K.V.A.

Se tiene diseñado el sistema de manera que en la etapa inicial los turbogeneradores operen en forma continua al 80% de su capacidad nominal, la cual irá en aumento de acuerdo a las crecientes necesidades del Complejo, hasta una capaci

dad de 48 000 K.V.A.; equivalente al 80% de su capacidad nominal.

B).- Distribución.

La distribución de la Energía a las diferentes subestaciones primarias, se logra satisfactoriamente utilizando un sistema radial con doble alimentador a 13,800 Volts., dicha configuración es comunmente usada en la industria donde se necesita abastecer grandes cargas puntuales con la mayor seguridad y continuidad del servicio.

C).- Transformación.

Las subestaciones reductoras nos proporcionarán los niveles adecuados de voltaje, para la operación de los equipos eléctricos desde un voltaje de 13,800 Volts., a 4,160 Volts., ó 480/220/127 Volts.

Están diseñadas de tal forma que tengamos el 50% de la carga en un alimentador y el otro 50% en el segundo alimentador - con la finalidad de que al presentarse una falla en uno de los dos transformadores la carga conectada a éste sea absorbida por el otro, operando al 100% de su capacidad nominal - por medio de un interruptor de enlace en los tableros de distribución respectivos a los transformadores, como se muestra en el diagrama.

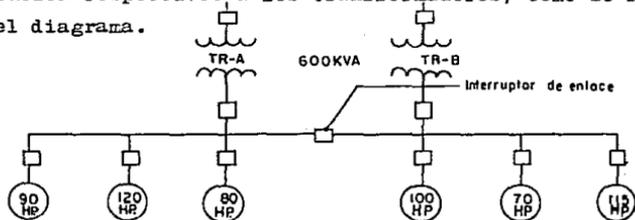


FIG. 1.1 Diagrama unifilar típico

Se utiliza un sistema radial con doble alimentador, por ser el más confiable dentro de las instalaciones eléctricas industriales; dado que se está alimentando cargas puntuales - considerables de tipo industrial que requieren la mayor continuidad y seguridad posible.

D).- Consumo.

Los Bancos de motores mayores de 200 H.P. utilizados en el bombeo de torres de enfriamiento se alimentan en 4,160 -- Volts., para lo cual se tienen diseñadas subestaciones primarias; se cuenta con subestaciones derivadas que nos reducen de 4,160 a 440/220/127 Volts., para la alimentación de las plantas de proceso, alumbrado, circuitos de control y - motores menores.

Con el propósito de poner a la venta los productos destinados para exportación por vía marítima de la producción del Complejo Petroquímico Morelos, se proyectó también la construcción de una nueva Terminal Marítima en la laguna de Pajaritos, Ver., ocupará el área oriente y estará integrada - por un área de almacenamiento de:

Etileno con capacidad de	8,000 Ton.
Propileno con capacidad de	20,000 Ton.
Butadieno con capacidad de	60,000 Bls.
Isobutano con capacidad de	80,000 Bls.

Incluye también una planta de Servicios Auxiliares para cubrir los requerimientos de los muelles 7, 8, 9, 10, 11, 12- y 14 utilizados para distribución y venta en Buque-tanques- de los hidrocarburos mencionados.

La capacidad eléctrica de la Subestación en la Terminal Ma-

rítima y por lo tanto a transmitir es de 37,000 K.V.A. Dicha potencia será alimentada desde los turbogeneradores - del Complejo Morelos, en el voltaje de generación a 13,800-Volts., la localización de las instalaciones la tenemos en el plano general de localización. (Plano I.I)

El presente trabajo de investigación, tiene por objeto conocer el desarrollo de las diferentes etapas a seguir en la - realización de un proyecto de ingeniería; desde el conocimiento de las normas para diseño, hasta las pruebas para puesta en operación.

Está enfocado al diseño de la línea de transmisión de energía eléctrica mediante la cual se abastecerá la Subestación de la Terminal Marítima, área oriente implementada con cables de energía.

En el capítulo uno presentamos un panorama general con el - objeto de ubicarnos en el contexto donde se ha desarrollado el trabajo, para el capítulo dos exponemos de manera clara y detallada, todas aquellas consideraciones que deben ser - tomadas en cuenta al estar en la etapa de diseño en todo - proyecto de ingeniería. Para nuestro caso son las normas - de proyecto tanto internas (de Petroleos Mexicanos) como -- nacionales e internacionales, así como recomendaciones de - fabricantes y Asociaciones de Ingeniería, tales como I. -- EEE. A.P.I., ICEA, ANSI.

Incluimos en el capítulo tres una descripción general de - dos cables de energía, así como el desglose de los cálculos por ampacidad y caída de tensión de los conductores para la selección del calibre adecuado.

Con el propósito de poder dimensionar un dispositivo de protección adecuado para nuestra línea de transmisión, desarrollamos un estudio de corto circuito en el capítulo cuatro. Los resultados obtenidos son utilizados también para la comprobación de los conductores por el criterio de corto circuito.

El capítulo cinco describe todas las especificaciones y procedimiento constructivo de las canalizaciones e instalaciones. Tratando aspectos sobre ductos subterráneos, terminales, empalmes, registros, tensión de jalado, así como recomendaciones para facilitar la instalación y mantenimiento.

El capítulo seis contendrá las pruebas eléctricas de campo necesarias para la puesta en operación del proyecto, enlistando de la misma manera sus resultados obtenidos.

Al final se realiza un análisis de las experiencias y conocimientos adquiridos, al desarrollar el presente trabajo -- con el propósito de evaluar el logro del objetivo planteado.

CAPITULO 2

BASES DE DISEÑO

2.1 Generalidades.

Los sistemas eléctricos de potencia se diseñan para brindar un servicio continuo y seguro tanto para el personal como - para el equipo, que facilite el mantenimiento, su manejo y - su operación con las menores pérdidas de potencia. Además - los sistemas eléctricos se diseñan de manera que cuenten -- con capacidad adicional para futuras ampliaciones, es decir que su diseño debe estar basado en los siguientes criterios

Confiabilidad.

Seguridad.

Flexibilidad.

Facilidad de Expansión.

Simplicidad.

Economía.

2.1.1 Confiabilidad.

La confiabilidad en el servicio que requiere una planta industrial depende del tipo de proceso, para el caso de plantas petroquímicas es de suma importancia contar con un sistema que presente la mayor continuidad de servicio, por lo que una interrupción de energía reditúa en grandes pérdidas económicas ó daños al equipo, por tal motivo la instalación debe diseñarse para que las fallas puedan aislarse sin afectar la operación normal del resto del sistema.

2.1.2 Seguridad.

La seguridad tanto al personal como al equipo con el fin de disminuir el riesgo de accidentes y pérdidas de equipo en - casos de operación anormal; es otro aspecto de relevancia -

en su diseño.

2.1.3 Flexibilidad.

Debemos diseñar nuestros sistemas con capacidad suficiente para cuando algún elemento del sistema requiera salir de operación por motivos de mantenimiento ó inspección, su carga puede ser absorbida por lo equipos restantes.

2.1.4 Facilidad de Expansión.

Los sistemas de potencia deben de estar diseñados previendo incrementos de cargas adicionales. Además de contar con espacio para equipo con variaciones mínimas a las instalaciones existentes.

2.1.5 Simplicidad.

Con el propósito de facilitar el mantenimiento debemos de contar con sistemas cuyo diseño no sea sofisticado, procurando la mayor simplicidad de operación hasta donde las necesidades lo permitan.

2.1.6 Economía.

La economía de un sistema de potencia en una planta industrial no necesariamente está determinada por la inversión inicial, sino que deben considerarse la confiabilidad, las pérdidas, mantenimiento, seguridad y la facilidad de expansión para la selección de alternativas.

2.2 Criterios Específicos del Proyecto.

Para nuestro caso, la obra cae dentro del diseño de plantas petroquímicas, además de considerar las normas Pemex, se tomaron en cuenta las recomendaciones necesarias para satisfacer los requerimientos mínimos impuestos por organismos nacionales e internacionales tales como:

CONNEE Comité Consultivo Nacional de Normalización --
 de la Industria Eléctrica.
ANSI American National Standart Institute.
IEEE Institute Engineers Electrical and Electronics.
A.P.I. American Petroleum Institute.
I.C.E.A. Insulated Cable Engineers Association.
NEMA National Electrical Manufactures Association.

La continuidad es el criterio de mayor prioridad, en el diseño del sistema eléctrico requerido por la terminal Marítima, por lo cual se optó por un sistema eléctrico que contempla todos los aspectos, desde la generación hasta el consumo de la energía.

Para la generación se dispondrá de tres turbogeneradores de vapor de tecnología Mitsubishi con las siguientes características:

Capacidad Nominal	60 M.V.A.
Voltaje Nominal	13.8 K.V.
Corriente Nominal	2510 Amp.
Velocidad Angular	3600 R.P.M.
Frecuencia	60 Hz.
3 Fases	2 Polos.
Voltaje de excitación	250 V.C.D.
Conexión Estrella	
Régimen Continuo	

Además se contará para casos de emergencia y/o mantenimiento, un turbogenerador de gas de 35 M.V.A. de capacidad.

La energía se distribuirá a las diferentes subestaciones -

con un sistema radial de doble alimentador en 13.8 K.V., con propósito de evitar la ausencia total de energía eléctrica - en las plantas de proceso para el caso en que se presente - una falla en algunos de dos alimentadores quedará el otro - alimentador en operación trabajando al 100% de su capacidad - a través de un interruptor de enlace, siguiendo el mismo criterio de continuidad. Petroleos Mexicanos tiene normalizadas sus instalaciones de fuerza en Plantas Petroquímicas debiendo ser éstas de tipo subterráneo, a pesar de que el costo de este tipo de instalaciones es mucho más elevado en comparación con las de tipo aéreo, se utilizan instalaciones subterráneas ya que las aéreas están expuestas continuamente a fallas debidas a perturbaciones de origen atmosférico siendo ésta una zona de frecuentes tormentas eléctricas, además de que disminuyen al mínimo la probabilidad de accidentes por incendio y/o chispas eléctricas que pudiesen ocurrir en áreas clasificadas como peligrosas.

Dentro del Complejo tenemos áreas Clase I Div., "A" las cuales son lugares en donde existen continuamente en el aire -- concentraciones peligrosas de vapores ó gases inflamables en cantidades suficientes para formar con el aire mezclas explosivas ó inflamables, así mismo tenemos las atmósferas de:

Grupo B: Atmósferas que contienen Butadieno, Oxido de Etileno.

Grupo C: Atmósferas que contienen Acetaldehido, Etileno.

Grupo D: Atmósferas que contienen Acetona, Acrilonitrilo, - Amoniaco, Benceno, Butano, Etano, Metano, Gas Natural, Propano, Propileno.

De lo anteriormente expuesto el diseño se basará en lo Sig.

- a).-- El proyecto incluirá un doble alimentador.
- b).-- La instalación deberá ser de tipo subterráneo.
- c).-- Los conductores tendrán que ser en cable de cobre suave.
- d).-- La capacidad de conducción deberá ser tomando en cuenta el número de conductores, la caída de tensión, corto circuito, factor de corrección por temperatura y agrupamiento.
- e).-- Para el nivel de tensión utilizado de 13.8 K.V. (IEEE- No. S-135) el aislamiento deberá ser de etileno-propileno ó polietileno de cadena cruzada con cubierta metálica. (I.C.E.A. No. P-46-12o).
- f).-- La línea de transmisión deberá estar provista de un dispositivo de protección que puede ser un interruptor de potencia en aire ó aceite al inicio y final de ésta con dispositivos $\frac{50}{51}$ $\frac{50}{51}$ N.
- g).-- El interruptor deberá tener la capacidad interruptiva acorde con los cálculos de corto circuito.
- h).-- Los conductores deberán seleccionarse con una cubierta exterior resistente a sustancias químicas.
- i).-- Para la canalización se utilizará tubo conduit metálico rígido, pared gruesa, cédula 40 de acero galvanizado por inmersión con rosca y cople (NOM - DGN - J - 1o grado de calidad "A" tipo 2 (NOM - DGN - C- 37 - 1971) (ANSI - C80 - 1 - 1966) ó tubo de Asbesto-Cemento.
- j).-- El tubo deberá ir inmerso en concreto armado, coloreado.

do en rojo, con una resistencia mecánica de 175 Kg/Cm²
(Norma Pemex - 5.112.06)

CAPITULO 3

CALCULO ELECTRICO DE LOS CONDUCTORES

3.1 Descripción de Cables de Energía.

Cable de energía es el conductor eléctrico con el cual podemos transmitir ó distribuir energía eléctrica en forma subterránea disponiendo para ello de los elementos necesarios para brindar un nivel adecuado de aislamiento a tierra.

Los cables de energía son diseñados para soportar los efectos producidos, al transportar corrientes alternas de magnitud considerable en niveles de voltaje que van desde los 5 K.V. a 115 K.V.

El efecto combinado de estos parámetros (Corriente, Voltaje), establece las características de diseño.

Los elementos constitutivos para lograr una operación adecuada cumpliendo su función son:

- a).- El elemento conductor.
- b).- El aislamiento adecuado para soportar el voltaje de operación.
- c).- La cubierta exterior para protección mecánica.

Adicionalmente se utiliza una pantalla semiconductor que cuya función es distribuir uniformemente el gradiente del campo eléctrico sobre el aislamiento.

La figura 3l muestra la secuencia y posición de cada uno de los elementos que forman un cable unipolar.

3.1.1 Elemento Conductor.

Los materiales de mayor uso como elementos conductores son el cobre y el aluminio.

El cobre se utiliza en tres diferentes temple:

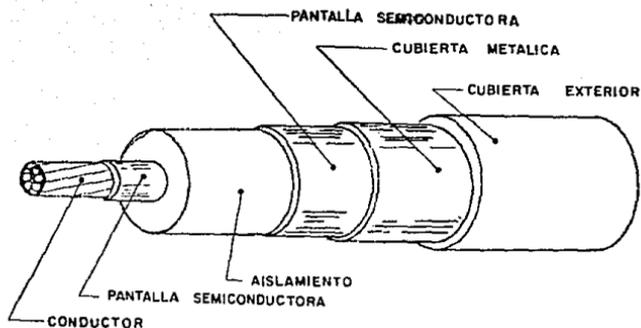


FIG. 3.1 ELEMENTOS DE UN CABLE MONOPOLAR

Suave que es de mayor conductividad, no tiene limitaciones en su uso, recocido y duro que presenta mayor resistencia a la tensión mecánica.

El aluminio es utilizado por su menor peso líneas aéreas de alta tensión.

Metal	Densidad	Temperatura de fusión	Coefficiente lineal de dilatación	Resistividad eléctrica a 20°C	Coefficiente térmico de resistividad eléctrica 20°C	Conductividad eléctrica
	g/cm ³	°C	× 10 ⁻⁶ /°C	ohm-mm ² /km	1/°C	% IACS*
Acero	7.90	1400	13	575-115	0.0016-0.0032	3-15
Aluminio	2.70	660	24	28.264	0.00403	61.0
Cobre duro	8.89	1083	17	17.922	0.00383	96.2
Cobre suave	8.89	1083	17	17.241	0.00393	100.0
Pomo	11.38	327	29	221.038	0.00410	7.8
Zinc	7.14	420	29	61.138	0.00400	28.2

TABLA 3.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CONDUCTORES

La flexibilidad es otra propiedad importante al momento de seleccionar un conductor, ya que ésta facilita su instalación y optimiza la operación del cable para una determinada aplicación, la flexibilidad de un conductor se logra reduciendo el material ó aumentando el número de alambres que lo forman (Cableado), para la fabricación de cables de energía de mediana tensión se requiere con un grado de flexibilidad de clase B mayor que el utilizado para líneas aéreas. La forma del conductor puede ser redonda concéntrica, redonda compacta y sectorial como muestra la Fig. 3.2

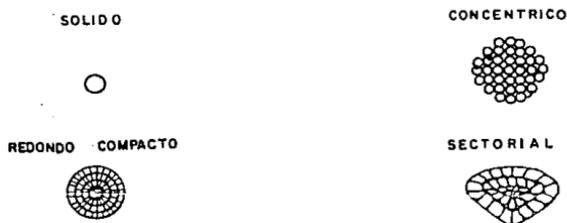


FIG. 3.2 DIFERENTES CONSTRUCCIONES DE CABLES

La forma redonda compacta es la que presenta mayores ventajas en cable monopolar de calibres grandes, ya que reduce el diámetro exterior sin afectar su capacidad de conducción y propiedades eléctricas.

El conductor sectorial se utiliza frecuentemente en cables trifásicos para calibres arriba de 1/0 A.W.G., éstos presentan menor diámetro, peso y un costo más bajo, en comparación con los conductores redondos, pero poseen menor flexi-

bilidad y presentan también mayor dificultad en la ejecución de uniones.



FIG. 3.3 CABLES TRIPOLARES

En México la escala de mayor uso para la fabricación de cables y conductores eléctricos es la A.W.G. (American Wire - Gage).

Para secciones mayores a 4/0 se utiliza directamente el área en unidades Circular Mil (Un circular mil es el área de un círculo cuyo diámetro es igual a un milésimo de pulgada). La tabla 3.2 establece las dimensiones de los calibres normalizados.

3.1.2 Pantalla Semiconductora sobre el Conductor.

La pantalla semiconductora extruída directamente sobre el conductor tiene la función de confinar en forma adecuada el campo eléctrico al aislamiento obtenido de ésta manera un control de los esfuerzos eléctricos a los que se somete el aislamiento debido a concentraciones de esfuerzos en los intersticios de un conductor cableado.

El uso de la pantalla semiconductora en el diseño de cables de energía es con el fin de obtener un gradiente uniformemente radial sobre el aislamiento del Campo Eléctrico dismi

nuyendose también el riesgo de fallas y deterioro.

Designación		Área de la sección transversal, mm ²	Número de alambres	Diámetro exterior nominal, mm	Peso nominal kg/km
mm ²	AWG o MCM				
—	8	8.37	7	3.40	75.9
—	6	13.30	7	4.29	120.7
—	4	21.15	7	5.41	191.9
—	2	33.6	7	6.81	305
—	1	42.4	19	7.59	385
50	—	48.3	19	8.33	438
—	1/0	53.5	19	8.53	485
—	2/0	67.4	19	9.55	612
70	—	69.0	19	9.78	626
—	3/0	85.0	19	10.74	771
—	4/0	107.2	19	12.06	972
—	250	126.7	37	13.21	1149
150	—	147.1	37	14.42	1334
—	300	152.0	37	14.48	1379
—	350	177.3	37	15.65	1609
—	400	203	37	16.74	1839
240	—	239	37	18.26	2200
—	500	253	37	18.69	2300
—	600	304	61	20.6	2760
—	750	380	61	23.1	3450 ^H
—	800	405	61	23.8	3680
—	1000	507	61	26.9	4590

TABLA 3.2 CALIBRES NORMALIZADOS EN LA FABRICACION DE CABLE EN COBRE COMPACTO

3.1.3 Aislamientos.

Los aislamientos de mayor uso en los cables aislados para mediana y alta tensión son:

- a).- De tipo impregnado.
- b).- De tipo seco.
- a).- De tipo impregnado.

Los de tipo impregnado emplean un papel especial, impregnado de aceite viscoso ó parafina micro - cristalina del petróleo, la cual ocupa los espacios vacíos del papel, evitando el paso de aire y por lo tanto su ionización en condiciones normales de operación.

- b).- De tipo seco.

Los aislamientos llamados de tipo seco son por ejemplo: - el policloruro de vinilo, etileno - propileno y el polietileno de cadena cruzada.

Los cuales se diseñan para brindar un nivel de aislamiento a tierra adecuado, en los cables de energía.

Estos presentan una alta rigidez dieléctrica, alta resistencia de aislamiento, resistencia a la ionización, así como - un factor de potencia y constante dieléctrica más estables en presencia de humedad.

Las características eléctricas que se consideran para la selección de un aislamiento son:

- Rigidez Dieléctrica.
- Gradiente de Operación.
- Resistencia de Aislamiento.
- Factor de Potencia.

- a).- Rigidez Dieléctrica, es el valor del Campo Eléctrico a

la cual el aislamiento es perforado se expresa en KV/mm.

b).- Gradiente de operación, es el valor del campo eléctrico a el cual el aislamiento trabaja en condiciones normales de operación sin sufrir daños. Varía dependiendo de la distancia del conductor al punto donde se desea conocer.

c).- Resistencia de aislamiento, es la característica mediante la cual el aislamiento se opone al paso de la corriente de fuga, que se presenta entre el conductor y tierra, está dada en $M\Omega - KM$.

d).- Factor de potencia, al aplicar un potencial a un cable de energía fluir la corriente I_0 a tierra a través del dieléctrico y defazada un ángulo θ con respecto al voltaje aplicado como muestra la figura. 3.5

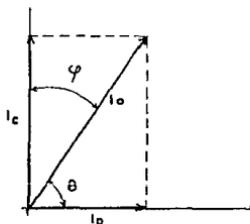


FIG. 3.5

I_0 se considera compuesta de la corriente I_c debida a la capacitancia del cable y la corriente I_p llamada corriente de pérdidas, al valor de la $\tan \varphi$ se conoce como factor de disipación dieléctrica ó factor de potencia del aislamiento, la cual es aproximadamente igual al coseno de θ debido a que el ángulo θ es muy cercano a 90° .

Otras características secundarias dentro de la selección de

los aislamientos es la resistencia a la humedad y la flexibilidad total de los diferentes materiales que componen un cable de energía.

La presencia de humedad es una de las condiciones ambientales más severas dentro de la operación de un cable de energía. Existen algunos aislamientos más susceptibles de absorber la humedad, son aquellos a base de papel impregnado.

Por otra parte el polietileno de cadena cruzada (XLPE) muestra mayor resistencia a la penetración de humedad que el Etileno - Propileno (EP).

Los cables de energía se fabrican en tres diferentes clases ó niveles de aislamiento, los cuales dependen de los sistemas de protección y el tiempo que tardan en liberar la falla a tierra, dicha clasificación es:

100% de nivel de aislamiento (cuando se libere la falla en un tiempo menor de un minuto).

133% del nivel de aislamiento (tiempo no mayor de una hora para liberar la falla).

173% de nivel de aislamiento (tiempo indefinido para librar la falla).

3.1.4 Pantalla Semiconductora sobre el aislamiento.

Por lo general está formada de un material semiconductor compatible con el aislamiento, ya sea en barniz semiconductor ó en forma de cinta. Esta capa de material semiconductor aplicado sobre el aislamiento va a reducir considerablemente los esfuerzos eléctricos tangenciales y longitudinales, que se presentan en el aislamiento al ser energizado el cable.

Adicionalmente al igual que la pantalla semiconductora sobre el conductor, nos proporciona una distribución simétrica y radial de los esfuerzos eléctricos en el aislamiento, ya que una distribución no uniforme conduce a un incremento de dichos esfuerzos en diferentes puntos a lo largo del cable, con la consecuente posibilidad de falla.

3.1.5 Pantalla Metálica.

La utilización de la pantalla metálica en cables de energía arriba de 5 K.V. es estrictamente indispensable y se utiliza para:

- - Presentar una impedancia uniforme a lo largo del cable.
- - Absorber energía de las ondas de sobre-tensión al inducir en la pantalla una corriente proporcional.
- - Proteger de daño mecánico y del medio ambiente (humedad) al conductor y aislamiento.
- - Reducir el riesgo de accidentes al personal operativo al proveer de una trayectoria adecuada a tierra de las corrientes capacitivas y potenciales inducidos en el aislamiento y pantalla que pudieran ser peligrosos al contacto con el personal.

La pantalla metálica puede estar constituida de; alambres enrollados helicoidalmente a lo largo del cable, cintas planas helicoidales ó fabricada tubularmente sobre el cable.

Se diseñan con propósitos electrostáticos para mantener el potencial inducido en la superficie exterior del cable lo más cercano a tierra, éstas deberán ser de un material no magnético como plomo ó aluminio.

Las pantallas hechas en forma de cintas ó alambres, por lo

general son de cobre suave, en algunos casos se usan para conducir corriente de falla.

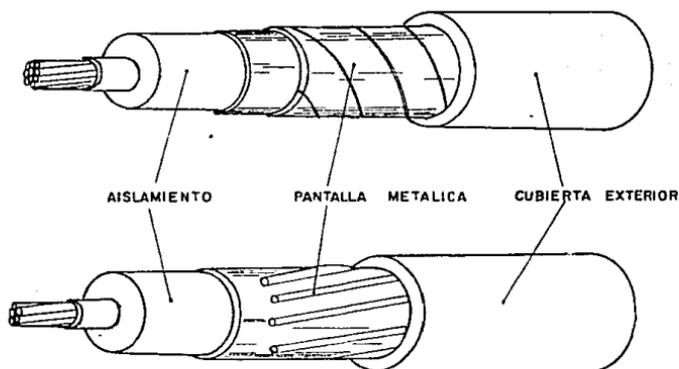


FIG. 3.6 PANTALLAS METALICAS

3.1.6 Cubierta Exterior.

la función primordial de la cubierta es la de proteger el cable de los agentes externos, como el medio ambiente ó sustancias químicas, además de brindar protección mecánica durante su instalación, transporte y operación. Las cubiertas de mayor utilización en cables de mediana tensión son las termoplásticas como el policloruro de vinilo (P.V.C.) ó el polietileno de alta y baja densidad.

También se utilizan cubiertas de materiales elastoméricos como el Neopreno e Hypalón, de menor uso son las cubiertas-

textiles a base de yute impregnado en asfalto. La tabla 3.3 muestra las características de los materiales empleados en las cubiertas.

Características	PVC	Poliétileno baja densidad	Poliétileno alta densidad	Neopreno	Poliétileno clorosulfonado HYPALON	Plomo
Resistencia a la humedad	B	E	E	B	MB	E
Resistencia a la abrasión	B	B	E	MB	MB	M
Resistencia a golpes	B	B	MB	E	E	M
Flexibilidad	B	B	R	E	E	R
Doblez en frío	R	E	MB	R	R	—
Propiedades eléctricas	MB	E	E	R	B	—
Resistencia a la intemperie	MB	E+	E+	B	E+	MB
Resistencia a la flama	MB	M	M	B	B	B
Resistencia al calor	B	M	R	MB	E	MB
Resistencia a la radiación nuclear	R	B	B	B	MB	E
Resistencia a la oxidación	E	R	R	MB	E	B
Resistencia al ozono	E	E	E	B	E	E
Resistencia al efecto corona	E	B	B	R	B	E
Resistencia al corte por compresión	B	B	B	MB	B	M
Resistencia a ácidos:						
— Sulfúrico al 30%	E	E	E	R	R	E
— Sulfúrico al 3%	E	E	E	R	R	R
— Nítrico al 10%	R	E	E	R	R	M
— Clorhídrico al 10%	B	E	E	R	R	R
— Fosfórico al 10%	E	E	E	R	R	B
Resistencia a álcalis y sales:						
— Hidróxido de sodio al 10%	E	E	E	M	R	B
— Carbonato de sodio al 2%	B	E	E	R	R	B
— Cloruro de sodio al 10%	E	E	E	B	B	B
Resistencia a agentes químicos orgánicos:						
— Acetona	M	B	B	B	B	E
— Tetrahidruro de carbono	B	B	B	B	M	E
— Aceites	E	B	B	B	B	E
— Gasolina	B	B	B	B	B	E
— Ceras	R	B	B	M	M	—
Límites de temperatura MIN. de operación (°C)	-55	-60	-60	-30	-30	—
MAX.	+75	+75	-75	+90	+105	—
Densidad relativa	1.4	0.9	1.0	1.3	1.2	11.3
Principales aplicaciones:	Uso general, cables para iniciadores y sustitutos cubierlizos.		Cables a la intemperie. Cubiertas sostenidas por plomo.	Mismos, pero cuando se requiere mayor resistencia a la abrasión.	Cables flexibles. Cables para minas.	Cables flexibles de alta calidad. Cables con aislamiento de papel impregnado. Cables para refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.
E = Excelente	MB = Muy buena	B = Buena	R = Regular	M = Mala	+ Sólo en color negro, conteniendo negro de humo	

TABLA 3.3

3.2 Selección del Conductor.

En base a la exposición sobre cables de energía, vista con anterioridad, debemos seleccionar un conductor compacto de cobre suave, con el objeto de reducir las dimensiones exteriores del cable, aprovechando las excelentes características eléctricas del cobre suave.

Los principales materiales utilizados como aislamientos comercialmente en cables de energía son el Etileno - Propileno y el Polietileno de cadena cruzada, los cuales presentan características muy aceptables en ambientes húmedos, alta rigidez dieléctrica, resistencia a la ionización, adicionalmente para brindar mayor protección contra la humedad, ya que es la condición más severa y que reduce considerablemente la vida del cable, debemos seleccionar un cable provisto de pantalla metálica de plomo, dado que nuestra instalación estará localizada en lugares con un porcentaje de humedad considerable (95%), como lo es la zona de Pajaritos.

El cable seleccionado para nuestro proyecto deberá estar provisto de una cubierta exterior resistente a hidrocarburos, ya que existe continuamente la presencia de estas sustancias en los lugares donde quedará instalado dicho cable, tal es el caso del Complejo Petroquímico Morelos y la Terminal Marítima.

Dentro de los diferentes productos en el mercado de conductores eléctricos, el que cumple satisfactoriamente a las condiciones de operación es el cable fabricado por Condumex especialmente para instalaciones de fuerza en plantas Petroquímicas y refinerías, conocido comercialmente como "Vulca-

nel XLP", para operar a un voltaje nominal de 15 KV. Constituido por un conductor compacto de cobre suave, pantalla semiconductor extruida directamente sobre el conductor aislamiento de polietileno vulcanizado de cadena cruzada, - pantalla semiconductor sobre el aislamiento, pantalla electrostática de plomo y una cubierta exterior de policloruro de vinilo para una temperatura de operación de 90°C y que presenta las siguientes características.

- a).- Alta resistencia de aislamiento.
- b).- Alta rigidez dieléctrica.
- c).- Baja permitividad.
- d).- Bajo factor de potencia de aislamiento.
- e).- Mayor resistencia a humos y sustancias químicas.
- f).- Alta resistencia a hidrocarburos.
- g).- Mayor protección mecánica.
- h).- Empalmes y terminales sencillos.

3.3 Cálculo por capacidad de conducción.

El calibre ó sección de un conductor requerido para una aplicación específica, se determina por la corriente nominal requerida en la carga ó capacidad instalada, la caída de tensión permisible y por la corriente de corto circuito que pudiera soportar el conductor para el caso en que se presente una falla.

En éstas dos secciones siguientes analizaremos los dos primeros criterios, capacidad de conducción de corriente y caída de voltaje, quedando la comprobación por el criterio de corto circuito del calibre seleccionado en los conductores, para su posterior análisis en el capítulo cuatro.

Tenemos la necesidad de transmitir una potencia eléctrica a la subestación de la terminal marítima área oriente, con capacidad de 37,600 KVA, repartido en dos alimentadores ó circuitos como muestra el diagrama unifilar de la figura. 3.7.

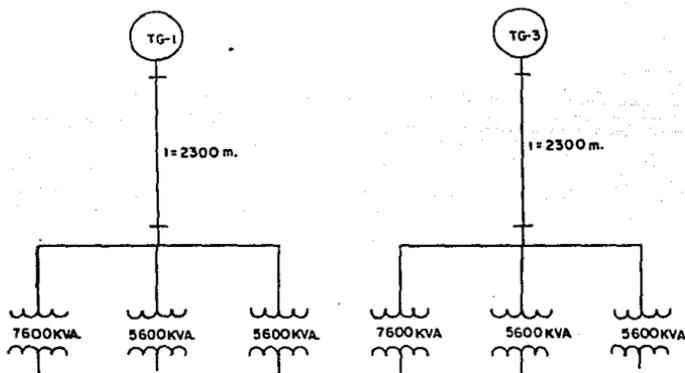


FIG. 3.7

Se alimenta a los transformadores de la capacidad mostrada en la subestación con las siguientes características.
 Transformador de 5600 KVA., 13.8/4.16 KV, 5.75 %, OA.
 Transformador de 7500 KVA., 13.8/4.16 KV, 6.0 %, OA.
 De el plano de localización tenemos que la distancia desde los tableros de distribución en alta tensión del generador uno y generador dos, hasta los transformadores en la subestación de la terminal es de 2,300 Mts.

Para el cálculo es suficiente considerar uno de los circuitos, ya que el otro resultará de la misma capacidad.

La corriente por circuito en cada fase es:

$$I = \frac{\text{KVA.}}{\sqrt{3} \times \text{K.V}} \quad . . . \quad (3.1)$$

$$I = \frac{10,800}{\sqrt{3} \times 13.8}$$

$$I = 786.54 \quad (\text{Amp.})$$

De la tabla 3.4 observamos que la capacidad de corriente está tabulada para una temperatura del terreno de 25° C en instalación subterránea y un agrupamiento, los cuales resultan ser diferentes a las condiciones reales de instalación—por lo que tenemos que afectar la corriente con los factores de corrección por temperatura del terreno, y el factor de corrección por agrupamiento, con la siguiente expresión.

$$I_c = \frac{I}{f_T \times f_A} \quad . . . \quad (3.2)$$

Donde:

I_c Corriente corregida.

f_T Factor de corrección por temperatura.

f_A Factor de corrección por agrupamiento.

Tabla 3.4

REFINERIAS DE PETROLEO Y PLANTAS PETROQUIMICAS

Calibre	CAPACIDAD DE CONDUCCION DE CORRIENTE EN AMPERES								
	En charolas (T _a = 40°C)			En ductos metálicos (T _a = 25°C)				Directamente enterrados (T _a = 25°C)	
	1 circuito	2 circuitos	3 circuitos	1 circuito	2 circuitos	1 circuito	3 circuitos	1 circuito	2 circuitos
AWG									
MCM									
6	95	93	91	100	89	90	71	99	77
4	125	123	120	130	116	115	91	115	99
2	170	167	163	170	151	150	119	145	125
1/0	220	216	211	220	196	190	150	190	163
2/0	260	255	250	250	223	220	174	216	185
3/0	290	284	278	280	240	245	194	240	206
4/0	340	333	326	310	276	280	221	270	232
250	380	372	365	340	299	310	245	300	258
300	420	412	403	370	326	340	269	325	280
400	490	480	470	415	365	400	316	370	318
500	550	539	528	460	400	450	356	420	361
600	610	598	586	490	426	490	387	450	387
750	675	662	648	530	461	550	435	500	430
1000	750	735	720	580	505	625	494	570	490

Condiciones para el cálculo de corriente:

- Temperatura del conductor 90°C
- Temperatura ambiente del aire 40°C
- Temperatura del terreno 25°C
- Resistividad térmica del terreno 120°C cm²/watt
- Factor de carga 100%

$$f_T = \sqrt{\frac{T_c' - T_a'}{T_c - T_a}}$$

T_c' = Temperatura operación real = 90° C

T_a' = Temperatura real terreno = 30° C

T_c = Temperatura operación diseño = 90° C

T_a = Temperatura del terreno -
para la tabla = 25° C

$$f_T = \sqrt{\frac{90-30}{90-25}}$$

$$f_T = 0.92$$

De la tabla 3.5 "factores de corrección por agrupamiento" en instalación subterránea tenemos que para la instalación propuesta, mostrada en la figura 3.7 del factor de agrupamiento es de, $f_A = 0.61$

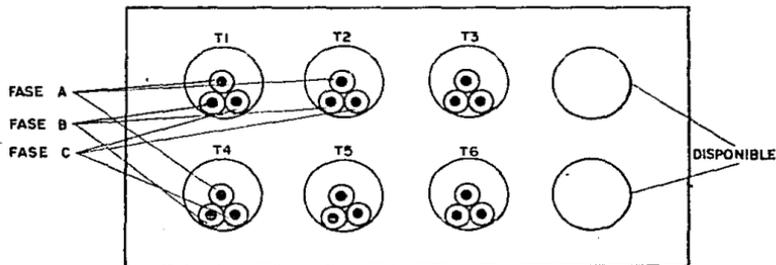


FIG. 3.7

Por lo tanto la corriente corregida será.

$$I_c = \frac{786.5}{0.92 \times 0.61}$$

$$I_c = 1401.5$$

TABLA 3.5

FACTORES DE CORRECCION POR AGRUPAMIENTO EN
INSTALACION SUBTERRANEA DE CABLES

a) Un cable triplex o tres unipolares en el mismo ducto, o un cable tripolar por ducto.

Tipo de cable	Tipo de agrupamiento*	Número de circuitos	Referencia	Cables directamente enterrados					Cables en ductos			
				Espaciamiento entre circuitos (d)								
				Cables tocándose	15 cm	30 cm	45 cm	60 cm	Cables tocándose	30 cm	45 cm	60 cm
TRIPLEX O UNIPOLARES EN TRENOL	PLANO	2	Fig. 1a	0.78	0.81	0.86	0.89	0.90	0.87	0.87	0.90	0.82
		3	Fig. 1b	0.67	0.71	0.77	0.81	0.84	0.79	0.79	0.83	0.85
		4	Fig. 1c	0.61	0.65	0.72	0.77	0.80	0.74	0.74	0.79	0.82
		6	Fig. 1d	0.5	0.58	0.66	0.71	0.76	0.68	0.68	0.74	0.77
	HILERAS**	2	Fig. 2a	0.77	0.70	0.83	0.85	0.86	0.85	0.85	0.87	0.89
		3	Fig. 2b	0.66	0.70	0.74	0.76	0.79	0.76	0.76	0.78	0.81
		2 x 2	Fig. 2c	0.59	0.63	0.78	0.71	0.73	0.70	0.70	0.73	0.75
		2 x 3	Fig. 2d	0.49	0.54	0.59	0.62	0.65	0.61	0.61	0.64	0.67
		3 x 3	Fig. 2e	0.47	0.46	0.50	0.53	0.56	0.51	0.52	0.55	0.58
		4 x 3	Fig. 2f	0.38	0.41	0.45	0.47	0.49	0.43	0.44	0.50	0.53
TRIPOLARES	PLANO	2	Fig. 3a	0.80	0.84	0.88	0.90	0.92	0.89	0.91	0.93	0.94
		3	Fig. 3b	0.69	0.75	0.80	0.83	0.85	0.82	0.84	0.87	0.89
		4	Fig. 3c	0.53	0.69	0.75	0.73	0.77	0.77	0.80	0.84	0.87
		6	Fig. 3d	0.55	0.62	0.69	0.75	0.78	0.71	0.76	0.81	0.84
	HILERAS**	2	Fig. 4a	0.79	0.83	0.87	0.89	0.91	0.89	0.90	0.91	0.92
		3	Fig. 4b	0.63	0.74	0.78	0.81	0.82	0.81	0.83	0.85	0.87
		2 x 2	Fig. 4c	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.76	0.79	0.81	0.84
		2 x 3	Fig. 4d	0.51	0.57	0.63	0.67	0.69	0.67	0.71	0.74	0.77
		3 x 3	Fig. 4e	0.43	0.43	0.53	0.55	0.58	0.53	0.61	0.63	0.65
		4 x 3	Fig. 4f	0.40	0.45	0.50	0.52	0.54	0.51	0.57	0.60	0.63

* Los factores para cables en hileras y toman en cuenta el incremento en la profundidad de instalación.

Cuando se desea conducir grandes cantidades de corriente - (más de 600 Amp.), el uso de cables en paralelo es más conveniente, ya que resulta más económico y su instalación más sencilla, al disponer de dos ó más conductores por fase del mismo calibre, puesto que los cables de sección media pueden conducir más amper por mm^2 que los de calibres mayores - al reducirse el efecto "piel", en la instalación con cables en paralelo.

para nuestro proyecto utilizaremos tres conductores por fase en cada circuito por lo que la corriente en cada conductor será:

$$I_n = \frac{I_c}{3} = \frac{1401.5}{3}$$

$$I_n = 467 \quad (\text{Amp.})$$

De acuerdo a la tabla 3.4 corresponde a un calibre 600 MCM., para una instalación en ductos subterráneos con tres cables por tubo, un cable por fase.

3.4. Cálculo por caída de tensión.

La caída de tensión es un factor muy importante que debemos cuidar detenidamente al momento de calcular un alimentador, ya que de éste dependera el funcionamiento óptimo de los equipos.

Para el cálculo de la caída de tensión utilizamos la siguiente expresión.

$$\Delta V = I_n \cdot L (R_{AC} \cos \theta + X_L \sin \theta) \dots \quad (3.3)$$

La regulación es un concepto que nos da una idea más clara de la pérdida de voltaje, a través de la línea, la obtene--

mos expresada como un porcentaje del voltaje la neutro, reflejando con ésto de alguna manera la calidad de la energía que entregamos a la carga.

Una regulación de 5% es un valor aceptable para un sistema de potencia, la calculamos con la siguiente ecuación.

$$\text{reg.} = \frac{\Delta V}{V_n} \times 100 \quad . \quad . \quad . \quad (3.4)$$

Donde L = Longitud del cable (Km).

R_{AC} = Resistencia en corriente alterna a 90°C (Ω/Km).

X_L = Reactancia del conductor (Ω/Km).

De la tabla 3.6 observamos que para un cable de calibre 600-MCM., tiene una resistencia en corriente alterna a 90° C de 0.076 (Ω/Km).

Para el cálculo de la reactancia utilizamos la siguiente fórmula.

$$X_L = 2 \pi f 4.605 \log_{10} \left(\frac{DMG}{RMG} \right) \times 10^{-4} \text{ (}\Omega/\text{Km.)} \quad . \quad . \quad (3.5)$$

Para la instalación propuesta de tres cables en un tubo, una fase por cable, como muestra la figura. 3.8

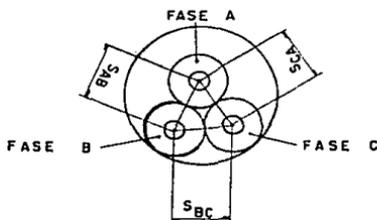


FIG. 3.8

TABLA 3.6

CABLES VULCANIZADOS XLP Y EP 5 Y 15 KV PARA

Calibre	DIMENSIONES						PESO		Resistencia a 90°C	INDUCTANCIA		
	Área del conductor	DIÁMETROS										
		Conductor	Aislamiento		Total	kg/km	Ohm/km	milihenrys/km				
mm ²	mm	mm		mm								
AWG MCM	Ac	Dc	Di		Di'		R	.2m.2m		TREBOL		
	5 y 15 kV	5 y 15 kV	5 kV	15 kV	5 kV	15 kV	5 y 15 kV	5 y 15 kV	5 kV	15 kV		
6	13.3	4.3	10.3	—	17.3	—	1040	—	1.684	0.997	0.467	—
4	21.2	5.4	11.4	—	17.8	—	1115	—	1.061	0.952	0.425	—
2	33.0	6.9	12.9	17.5	19.9	25.7	1345	2049	0.667	0.903	0.400	0.452
1/0	53.5	8.5	14.8	19.2	20.7	27.1	1630	2351	0.420	0.811	0.367	0.421
2/0	67.4	9.6	15.5	20.0	22.1	28.4	1865	2665	0.335	0.837	0.355	0.405
3/0	85.0	10.7	16.7	21.4	23.7	29.5	2108	2857	0.265	0.815	0.348	0.392
4/0	107.2	12.1	18.1	22.7	25.6	31.0	2720	3180	0.210	0.791	0.340	0.377
250	127.0	13.2	19.5	23.9	27.8	32.1	2120	3075	0.178	0.773	0.338	0.366
300	152.0	14.5	20.8	25.2	29.1	33.4	3462	3800	0.141	0.754	0.328	0.355
400	203.0	16.7	23.1	27.1	31.2	—	3925	4915	0.112	0.726	0.314	0.344
500	253.0	18.7	24.1	29.4	33.2	—	4647	5576	0.090	0.703	0.303	0.298
600	304.0	20.7	27.4	31.7	35.0	—	5607	6601	0.073	0.673	0.299	0.318
750	380.0	23.2	29.9	34.3	39.3	—	6857	7270	0.054	0.666	0.291	0.314
1000	507.0	26.9	32.9	38.1	41.4	—	7600	8230	0.047	0.631	0.275	0.301

Los datos constructivos son aproximados y están sujetos a tolerancias normales de manufactura.

El diámetro medio geométrico se calcula como:

$$DMG = \sqrt[3]{S_{AB} \times S_{BC} \times S_{CA}}$$

De la tabla 3.6 de dimensiones, tenemos que para un cable - 600 MCM., el espaciamiento entre centro de conductores es - igual al diámetro exterior que corresponde a: $\phi = 39.5$ mm. Por lo tanto:

$$DMG = \sqrt[3]{(39.5) (39.5) (39.5)}$$

$$DMG = 39.5$$

El radio medio geométrico es igual al radio medio exterior- del conductor por una constante, que depende del número de- hilos, según la tabla.

TABLA 3.7

Calibre	No. hilos
AWG ó MCM	
1/0	19
2/0	19
3/0	19
4/0	19
250	37
300	37
350	37
400	37
500	37
600	61
750	61
1000	61

No. hilos	K
1	0.779
7	0.726
19	0.758
37	0.768
61	0.774
91	0.776

TABLA 3.8

De la tabla 3.6 el radio del conductor es:

$$r_c = \frac{\phi}{2} = \frac{20.7}{2} = 10.35$$

Por lo que:

El diámetro medio geométrico se calcula como:

$$DMG = \sqrt[3]{S_{AB} \times S_{BC} \times S_{CA}}$$

De la tabla 3.6 de dimensiones, tenemos que para un cable - 600 MCM., el espaciamento entre centro de conductores es - igual al diámetro exterior que corresponde a: $\phi = 39.5$ mm. Por lo tanto:

$$DMG = \sqrt[3]{(39.5) (39.5) (39.5)}$$

$$DMG = 39.5$$

El radio medio geométrico es igual al radio medio exterior del conductor por una constante, que depende del número de hilos, según la tabla.

TABLA 3.7

Calibre	No. hilos
AWG ó MCM	
1/0	19
2/0	19
3/0	19
4/0	19
250	37
300	37
350	37
400	37
500	37
600	61
750	61
1000	61

No. hilos	K
1	0.779
7	0.726
19	0.758
37	0.768
61	0.774
91	0.776

TABLA 3.8

De la tabla 3.6 el radio del conductor es:

$$r_c = \frac{\phi}{2} = \frac{20.7}{2} = 10.35$$

Por lo que:

$$RMG = K r_c$$

$$RMG = 0.774 \quad (10.35)$$

$$RMG = 8.01$$

Sustituyendo los valores del DMG y RMG en la expresión (3.5) tenemos;

$$X_L = (2) (3.1416) (60) (4.005) (\log_{10} \frac{39.5}{8.01}) \times 10^{-4}$$

$$X_L = 0.1203 \text{ n/Km.}$$

Incluyendo el efecto de inducción electromagnética de las pantallas metálicas del cable, en la caída de tensión total a lo largo del conductor.

La resistencia total es:

$$R_T = R_{CA} + \frac{X_m^2 R_p}{X_m^2 + R_p^2} \quad . . . \quad (3.6)$$

Igualmente la reactancia total la conocemos por:

$$X_{L_T} = X_L - \frac{X_m^3}{X_m^2 + R_p^2} \quad . . . \quad (3.7)$$

$$X_m = 4 \pi f \ln \frac{d}{r_0} \times 10^{-4} \quad . . . \quad (3.8)$$

$$R_p = \frac{\rho}{d_m \cdot e} \quad . . . \quad (3.9)$$

Donde X_m es la inductancia mutua entre pantalla y conductor R_p la resistencia eléctrica de la pantalla a la temperatura de operación, d_m es igual a 31.9 mm., corresponde al diámetro medio de la cubierta metálica, e es igual a 2.5 mm., es el espesor de la cubierta de plomo y ρ es igual a $241 \frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{Km}}$

representa la resistividad del plomo a 20° C.

Cálculo de la resistencia de la cubierta de plomo a 20° C.

$$R_p = \frac{241}{(31.9)} (2.5)$$

$$R_p = 3.021 \Omega/\text{Km}.$$

El valor obtenido debe calcularse para 90° C que es la temperatura de operación del cable, mediante la ecuación 3.10

$$R_{p90^{\circ}\text{C}} = R_{p20^{\circ}\text{C}} \left[1 + \alpha_{20^{\circ}\text{C}} (90 - 20) \right] \quad (3.10)$$

De la tabla 3.1 de propiedades de los materiales conductores el coeficiente térmico de resistividad α , para el plomo es igual a 0.0041 1/°C

Sustituyendo valores en la ecuación (3.10).

$$R_{p90^{\circ}\text{C}} = 3.021 \left[1 + 0.0041 (90 - 20) \right]$$

$$R_{p90^{\circ}\text{C}} = 3.89 \Omega/\text{Km}.$$

Cálculo de la reactancia mutua con la expresión (3.8).

$$X_m = 4 (3.1416) (60) \ln \left(\frac{31.9}{2.5} \right) \times 10^{-4}$$

$$X_m = 0.192 \Omega/\text{Km}.$$

Utilizando los valores de X_m y R_p en las ecuaciones (3.6) y (3.7), obtenemos los valores totales de resistencia y reactancia.

$$R_T = 0.076 + \frac{(0.192)^2 (3.89)}{(0.192)^2 + (3.89)^2}$$

$$R_T = 0.076 + \frac{0.143}{15.168}$$

$$R_T = 0.085 \text{ } \Omega/\text{Km.}$$

$$X_{LT} = 0.1203 - \frac{(0.192)^3}{(0.192)^2 + (3.89)^2}$$

$$X_{LT} = 0.1203 - \frac{0.007}{15.168}$$

$$X_{LT} = 0.120 \text{ } \Omega/\text{Km.}$$

Sustituyendo ahora los valores de R_T y X_{LT} , en las expresiones (3.3) y (3.4) para el cálculo de la regulación, suponiendo un factor de potencia de 0.8.

$$\Delta V = (467) (2.3) \left[(0.085) (0.8) + 0.120 (0.6) \right]$$

$$\Delta V = (467) (2.3) \left[0.068 + 0.072 \right]$$

$$\Delta V = 150.3 \text{ (volts)}$$

$$\text{Reg} = \frac{V}{V_n} \times 100$$

$$V_n = \frac{13,800}{\sqrt{3}} = 7967.4 \text{ v.}$$

Por lo tanto:

$$\text{Reg} = \frac{150.3}{7967.4} \times 100$$

$$\text{Reg} = 1.88 \%$$

El valor obtenido para la regulación es muy aceptable ya que técnicamente no se presentan inconvenientes, por lo que concluimos que el calibre seleccionado, 600 MCM cumple satisfactoriamente con los criterios de capacidad de conducción.

de corriente y caída de tensión.

CAPITULO 4

CALCULO DEL NIVEL DE CORTO CIRCUITO

4.1 Bases Teóricas.

Todo sistema eléctrico de potencia está expuesto a sufrir - disturbios y fallas dentro de su operación, por lo que el - estudio y cálculo de las corrientes de falla en el sistema, es indispensable para poder dimensionar la capacidad interruptiva de nuestros dispositivos de protección, los cuales - estarán localizados antes de alimentar otros equipos eléctricos de importancia como son: Transformadores, tableros - de distribución, centros de control de motores, líneas de - transmisión ó cargas de alumbrado.

La capacidad interruptiva de un dispositivo de protección - es la potencia a la cual nuestro interruptor puede operar - satisfactoriamente para unas condiciones de falla sin que - sufra daño alguno, está expresada en K.V.A. ó M.V.A. y debe ser seleccionada de acuerdo con los cálculos de corto circuito.

En los casos cuando la capacidad del interruptor es mucho - mayor al valor real requerido puede ocurrir que al presentarse una falla en el sistema, éste dispositivo no abra -- oportunamente permitiendo que fluya la corriente de corto-circuito a través del equipo ocasionando daños y pérdidas irreversibles.

En caso contrario cuando la capacidad interruptiva sea menor al valor requerido nuestro dispositivo interruptor no resistirá los esfuerzos térmicos y mecánicos, debidos a la apertura de sus contactos por la circulación de la corrien

te de falla, ocasionando un deterioro total del equipo.

Con el presente estudio de corto circuito se tiene por objeto conocer la corriente de corto circuito en los puntos A y B mostrados en el diagrama unifilar de la Fig., N.1 y nos servirá para:

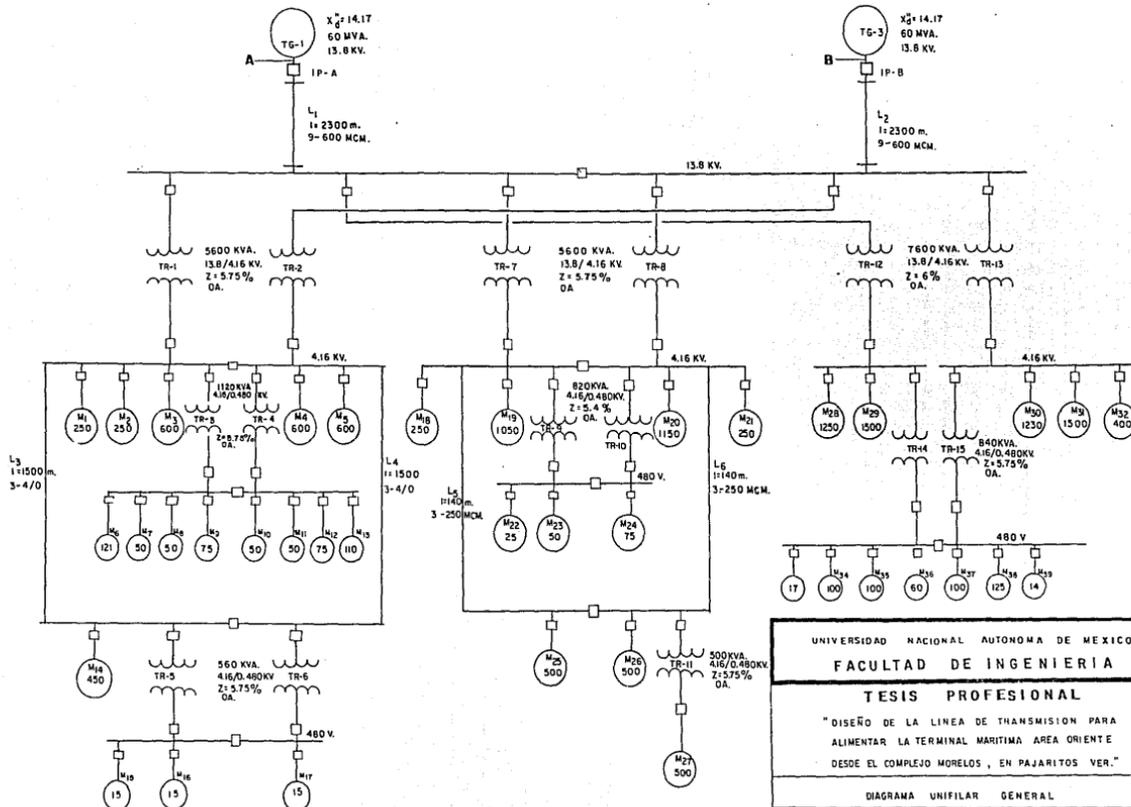
- a) Dimensionar y seleccionar adecuadamente un dispositivo de protección para nuestra línea de transmisión.
- b) Comprobar por el criterio de corto circuito, el calibre de los conductores seleccionados en el capítulo anterior.

Un sistema bien diseñado contempla dispositivos de protección en los puntos de mayor riesgo para el personal y el equipo, con el fin de aislar en el menor tiempo posible las condiciones de falla al momento de presentarse y evitar daños severos al equipo más próximo.

Las principales causas de corto circuito son debidas al deterioro de los aislamientos por agentes externos (roedores, humedad, acumulación de polvo y suciedad).

Cuando ocurre una falla en el sistema, la corriente de corto circuito es alimentada desde varias fuentes, dicha corriente puede ocasionar calentamiento en el sistema y equipos, todas las componentes del sistema que conducen la corriente de corto circuito están sujetas a esfuerzos térmicos y mecánicos, la caída de voltaje es proporcional al cuadrado de la corriente de corto circuito y es máxima en el punto de falla, ésta puede ser de cuatro diferentes tipos:

- a) Falla de fase a tierra.
- b) Falla entre dos fases.
- c) Falla de dos fases a tierra.



NOTA. La capacidad de los motores está dada en HP.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

"DISEÑO DE LA LINEA DE TRANSMISION PARA ALIMENTAR LA TERMINAL MARITIMA AREA ORIENTE DESDE EL COMPLEJO MORELOS, EN PAJARITOS VER."

DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL

Director: ING. DANIEL S. BECERRIL A. Alumno CRUZ VILLALOBOS DANIEL

ESCALA 5/E FECHA 26/IV/89 PLANO IV-1

d) Falla trifásica.

Existen cuatro fuentes que pueden alimentar la corriente de corto circuito:

a) Generadores.

Cuando una falla ocurre sobre un circuito alimentado por un generador, el movimiento ó inercia y el campo de excitación que posee el generador unos instantes después al inicio del corto circuito tiende a seguir alimentando la corriente de falla.

b) Motores síncronos.

Los motores síncronos son construídos similarmente a los generadores, tienen un campo excitado por corriente directa y un enrollamiento de estator, por el cual fluye la corriente alterna.

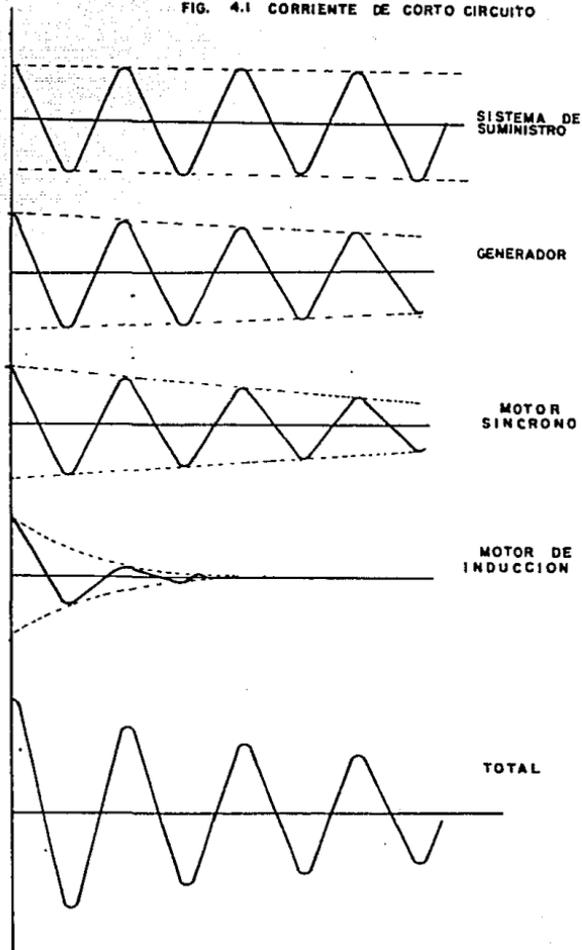
Cuando existe una falla hay una interrupción en el suministro de energía pero debido a la inercia de la carga junto con el campo de excitación tiene el mismo efecto que el generador.

c) Motores de Inducción.

El motor de inducción no tiene devanado de corriente directa, pero hay un flujo en el rotor, durante su operación normal, éste actúa similar al flujo producido por el campo de corriente directa del motor síncrono.

El campo del motor de inducción es producido por la inducción del estator al rotor, cuando se presenta una falla, el voltaje de suministro es interrumpido, pero el flujo del rotor no puede desaparecer instantaneamente, sino que va decreciendo y unido a la inercia que tiene, genera un voltaje

FIG. 4.1 CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO



que alimenta la corriente de corto circuito.

La magnitud de la corriente de corto circuito alimentada por el motor de inducción depende de la potencia (H.P.), del motor, su reactancia, el rango de voltaje, la reactancia del sistema al punto de falla. El valor inicial de la corriente de corto circuito es aproximadamente igual al valor de la corriente de arranque a voltaje pleno.

Para realizar el cálculo de corto circuito es necesario conocer el valor de la reactancia de todos los componentes -- del sistema, es decir conocer la reactancia de: Los transformadores, generadores, motores y alimentadores (buses, -- cables).

Existen diferentes métodos para realizar un estudio de corto circuito entre los cuales se encuentra el método exacto (componentes simétricas), y los métodos aproximados, en éstos métodos se transforma el sistema original en otro equivalente más fácil de analizar y en el cual están representadas todas las impedancias de los elementos constitutivos -- del sistema, algunos de éstos métodos son:

Método porcentual.

Método de los M.V.A

Método óhmico.

Método de por unidad.

Nuestro cálculo lo basamos en el método por unidad que a -- pesar de ser uno de los métodos aproximados nos simplifica las operaciones y los resultados que se obtienen, son bastante cercanos a los obtenidos por el método exacto y en me

nor tiempo.

La reactancia de las máquinas giratorias no es un valor simple sino que es una variable compleja en función del tiempo cuando se presenta una falla.

Las principales fuentes de corriente de falla son los generadores, de los cuales podemos distinguir para diferente tiempo su reactancia.

Reactancia subtransitoria X_d'' , es la reactancia aparente en los devanados de estator en el instante preciso que ocurre la falla.

Reactancia transitoria X_d' , es el valor aparente de la reactancia del devanado de estator a unos cuantos ciclos de iniciado el corto circuito, ésta reactancia es utilizada para el cálculo de la corriente de falla.

Reactancia sincrónica X_d es el valor de la reactancia cuando se ha alcanzado un estado más estable después de ocurrida la falla, su valor no es utilizado para los cálculos de corriente de corto circuito.

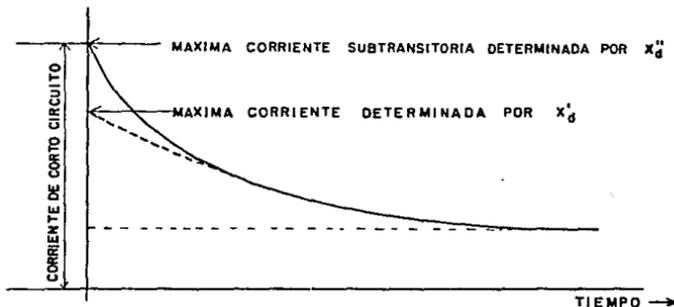


FIG. 4.2 VARIACION EN EL TIEMPO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL GENERADOR

4.2 Método.

Los pasos a seguir en el cálculo de corto circuito son los siguientes:

- a).- Realizar un diagrama unifilar que contenga representadas todas las fuentes de alimentación, transformadores generadores, motores y alimentadores con sus respectivos valores de reactancia, voltaje, capacidad en H.P. - ó K.V.A.
- b).- Localizar en el diagrama unifilar el punto donde se de sea conocer el corto circuito y establecer el tipo de falla.
- c).- Representar el sistema en un diagrama de impedancias ó reactancias, las cuales estarán referidas a una base común de K.V.A. ó M.V.A.

Cálculo de las Bases.

Por lo general se eligen las bases de voltaje y potencia - quedando como derivadas, la corriente base y la impedancia-base. Utilizando las expresiones siguientes:

$$I_B = \frac{K.V.A.B}{\sqrt{3} K.V.B} \quad (4.1)$$

$$Z_B = \frac{K.V.B}{\sqrt{3} I_B} \times 1000 \quad (4.2)$$

La reactancia de los generadores la podemos conocer a través de:

$$X_G = \frac{\% K.V.A.B}{100 K.V.A_G} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.3)$$

Para los transformadores la reactancia se calcula por:

$$X_{TR} = \frac{Z\% K.V.AB}{100 K.V.ATR} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.4)$$

De igual forma para los motores:

$$X_M = \frac{X\% K.V.AB}{100 K.V.AM} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.5)$$

Para:

Motores de Inducción los $K.V.AM = \text{H.P.}$

Motores Sincronos $f.p.=1$ $K.V.AM = 0.8 \text{ H.P.}$

Motores Sincronos $f.p.=0.8$ $K.V.AM = 1 \text{ H.P.}$

La reactancia de las líneas se obtiene de la siguiente manera:

$$X_L = \frac{X (K.V.AB)}{1000 (K.V.L)^2} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.6)$$

d).- Reducir el diagrama de impedancias por medio de equivalentes serie - paralelo y calcular la corriente de corto circuito junto con la potencia de corto circuito - con las expresiones siguientes:

$$I_{cc} = \frac{K.V.AB}{(X_{eq}) (\sqrt{3}) (K.V.F)} \quad (4.7)$$

$$I_{ccASIM} = 1.25 I_{cc}$$

$$P_{cc} = \frac{K.V.AB}{X_{eq}} \quad (4.8)$$

Tabla 4.1 Valores típicos de reactancias para máquinas - de inducción y sincronas, en por unidad del rango K.V.A. de la máquina.

MAQUINA	X_d''	X_d'
Turbo generador		
2 Polos	0.09	0.15
4 Polos	0.15	0.23
Generador de polos salientes con devanado rampa		
12 Polos ó menos	0.16	0.33
14 Polos ó más	0.21	0.33
Motores Sincronos	0.15	0.23
6 Polos	0.20	0.30
8 - 14 Polos	0.28	0.40
16 Polos ó más	0.24	0.37
Condensador Sincrono		
Convertidor Sincrono		
600 V.D.C.	0.20	
250 V.D.C.	0.33	
Motores de inducción individuales		
arriba de 600 V.	0.17	
Grupo de motores de inducción cada uno menor de 50 H.P a - 600 volts ó menos.	0.25	

X_d' normalmente no es usada en cálculos de corto circuito
El valor de X_d''

Donde:

- K.V.A_B = Kilovolts - amper base
K.V.A_{TR} = Kilovolts - amper de transformador
K.V.A_M = Kilovolts - amper del motor
K.V.A_G = Kilovolts - amper del generador
Z % = Reactancia en por ciento del equipo
K.V.F = Voltaje de falla (kilovolts)
I_{cc} = Corriente de corto circuito (Amp.)
I_{ccASIM} = Corriente de corto circuito asimétrica
X_{eq} = Reactancia equivalente (p.u.)
P_{cc} = Potencia de corto circuito
K.V.L₂ = Voltaje de la línea (kilovolts)

4.3 Memoria de Cálculo.

Cálculo de la reactancia del generador.

$$\text{Potencia base} = 10,000 \text{ KVA}, X_d'' = 14.17 \%$$

$$\text{Voltaje base} = 13.8 \text{ KV.}$$

Utilizando la expresión (4.3)

$$X_G = \frac{14.17 (10,000)}{100 (60,000)}$$

$$X_G = 0.0236 \text{ (p.u.)}$$

Cálculo de las reactancias de los transformadores con la expresión (4.4)

$$X_{TR-1} = X_{TR-2} = X_{TR-7} = X_{TR-6} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (5,000)} = 0.1028$$

$$X_{TR-12} = X_{TR-13} = \frac{6 (10,000)}{100 (7,000)} = 0.0789$$

$$X_{TR-3} = X_{TR-4} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (1220)} = 0.4713$$

$$X_{TR-5} = X_{TR-6} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (560)} = 1.0268$$

$$X_{TR-9} = X_{TR-10} = \frac{5.4 (10,000)}{100 (820)} = 0.6585$$

$$X_{TR-11} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (500)} = 1.1500 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{TR-14} = X_{TR-15} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (840)} = 0.6845 \text{ (p.u.)}$$

Cálculo de la reactancia de las líneas, aplicando la ecuación (4.6)., Para las líneas L_1 y L_2

$$X_L = 0.1203 \text{ } \Omega/\text{Km}, l = 2.3 \text{ Km}$$

$$X_{L1} = X_{L2} = \frac{0.2767 (10,000)}{1000 (13.8)^2}$$

$$X_{L2} = 0.0145 \text{ (p.u.)}$$

Para las líneas L_3 y L_4 sabemos que, son tres cables por tubo, de calibre 4/0 con una longitud de 1,500 M., para un voltaje de 4.5 KV., de la tabla 3.6

$$L = 0.346 \times 10^{-3} \text{ H/Km.}$$

Por lo que: $X_L = \omega L$

$$X_L = (1.5) (376.99) (0.000346)$$

$$X_L = 0.1956 \text{ } \Omega/\text{Km.}$$

$$X_{L3} = X_{L4} = 0.1956 \frac{10,000}{1000 (4.16)^2}$$

$$X_{L3} = X_{L4} = 0.0113 \quad (\text{p.u.})$$

La línea L5 al igual que L6 está formada de tres cables de calibre 250 MCM., con una longitud de 140 M., para un voltaje de 4.5 K.V., de la tabla.

$$L = 0.338 \times 10^{-3} \text{ H/Km}$$

$$X_L = l\omega L$$

$$X_L = (.140) (376.99) (0.000338)$$

$$X_L = 0.0178 \text{ } \Omega/\text{Km.}$$

$$X_{L5} = X_{L6} = 0.0178 \frac{10,000}{1000 (4.16)^2}$$

$$X_{L5} = X_{L6} = 0.010 \quad (\text{p.u.})$$

Cálculo de la reactancia de los motores.

- Los motores agrupados sobre el secundario de un transformador en 480 volts, se pueden agrupar en uno solo, equivalente a la suma de sus potencias en H.P., con una reactancia equivalente a 25%.
- Los motores de inducción aislados en 480 ó 220 volts menores de 50 H.P., pueden despreciarse, ya que su contribución a la corriente de corto circuito es muy pequeña.

La reactancia en por unidad la calculamos mediante la ecuación (4.5)

$$X_{M1} = X_{M2} = \frac{17 (10,000)}{100 (250)} = 6.80 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M3} = X_{M4} = X_{M5} = \frac{17 (10,000)}{100 (600)} = 2.82 \text{ (p.u.)}$$

Agrupando M6, M7, M8, M9.

$$X_{MA} = \frac{25 (10,000)}{100 (296)} = 8.44 \text{ (p.u.)}$$

Agrupando M10, M11, M12, M13.

$$X_{M13} = \frac{25 (10,000)}{100 (285)} = 8.77 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M14} = \frac{17 (10,000)}{100 (450)} = 3.78 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M18} = \frac{17 (10,000)}{100 (250)} = 6.80 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M19} = \frac{17 (10,000)}{100 (1050)} = 1.62 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M20} = \frac{17 (10,000)}{100 (1150)} = 1.48 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M21} = \frac{17 (10,000)}{100 (250)} = 6.80 \text{ (p.u.)}$$

Agrupando M22 y M23.

$$X_{MC} = \frac{25 (10,000)}{100 (75)} = 33.00 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M24} = \frac{17 (10,000)}{100 (75)} = 22.67 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M25} = X_{M26} = X_{M27} = \frac{25 (10,000)}{100 (500)} = 5.00 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M28} = \frac{17 (10,000)}{100 (1250)} = 1.36 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M29} = X_{M31} = \frac{17 (10,000)}{100 (1500)} = 1.13 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M30} = \frac{17 (10,000)}{100 (1230)} = 1.38 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M32} = \frac{17 (10,000)}{100 (400)} = 4.25 \quad (\text{p.u.})$$

Agrupando los motores: M33, M34, M35, M36.

$$X_{Mn} = \frac{25 (10,000)}{100 (277)} = 9.03 \quad (\text{p.u.})$$

Agrupando los motores: M37, M38, M39.

$$X_{Mn} = \frac{25 (10,000)}{100 (239)} = 10.46 \quad (\text{p.u.})$$

El sistema lo tenemos representado en el diagrama de impedancias en la figura 4.3

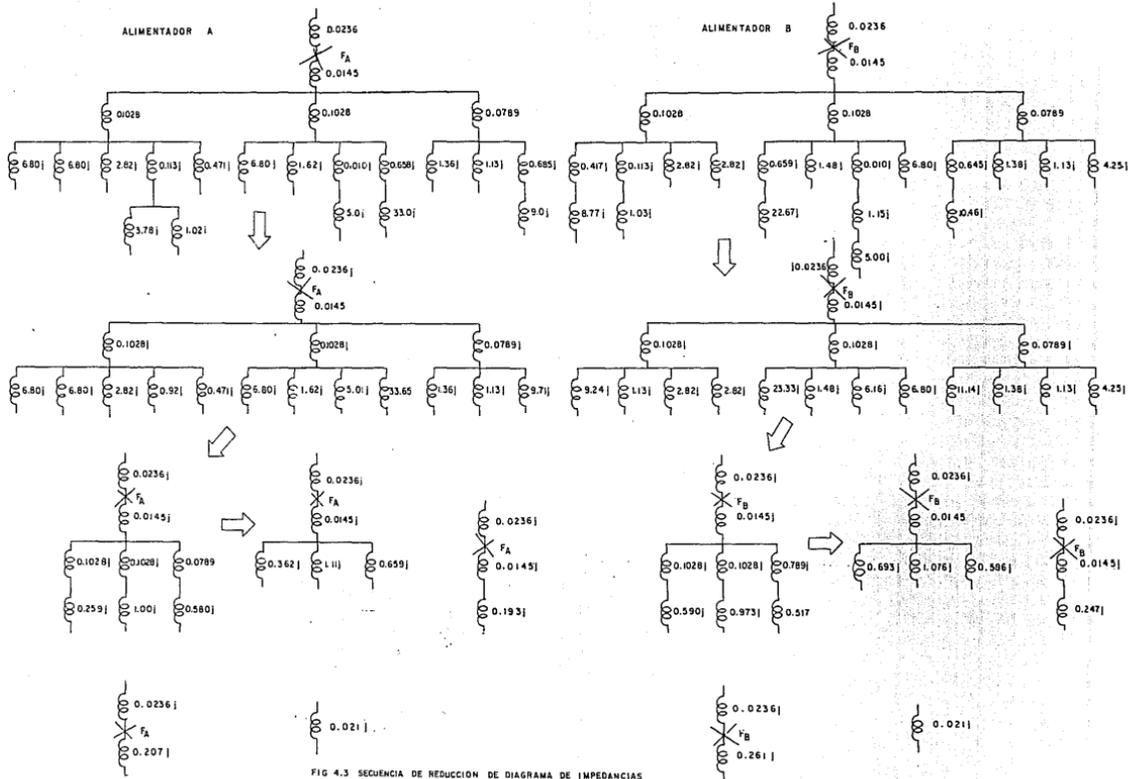


FIG 4.3 SECUENCIA DE REDUCCION DE DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS

Para el cálculo de la corriente de corto circuito empleamos la ecuación (4.7)

$$I_{cc} = \frac{10,000}{(0.021) (\sqrt{3}) (13.8)}$$

$$I_{cc} = 19,922.37 \text{ (Amp.)}$$

La corriente asimétrica de corto circuito es:

$$I_{ASIM} = 1.25 I_{cc}$$

$$I_{ASIM} = 1.25 (19,922.37)$$

$$I_{ASIM} = 24,902.96 \text{ (Amp.)}$$

Por lo que la potencia de corto circuito total es calculada con la fórmula (4.8).

$$P_{cc} = \frac{10,000}{0.021}$$

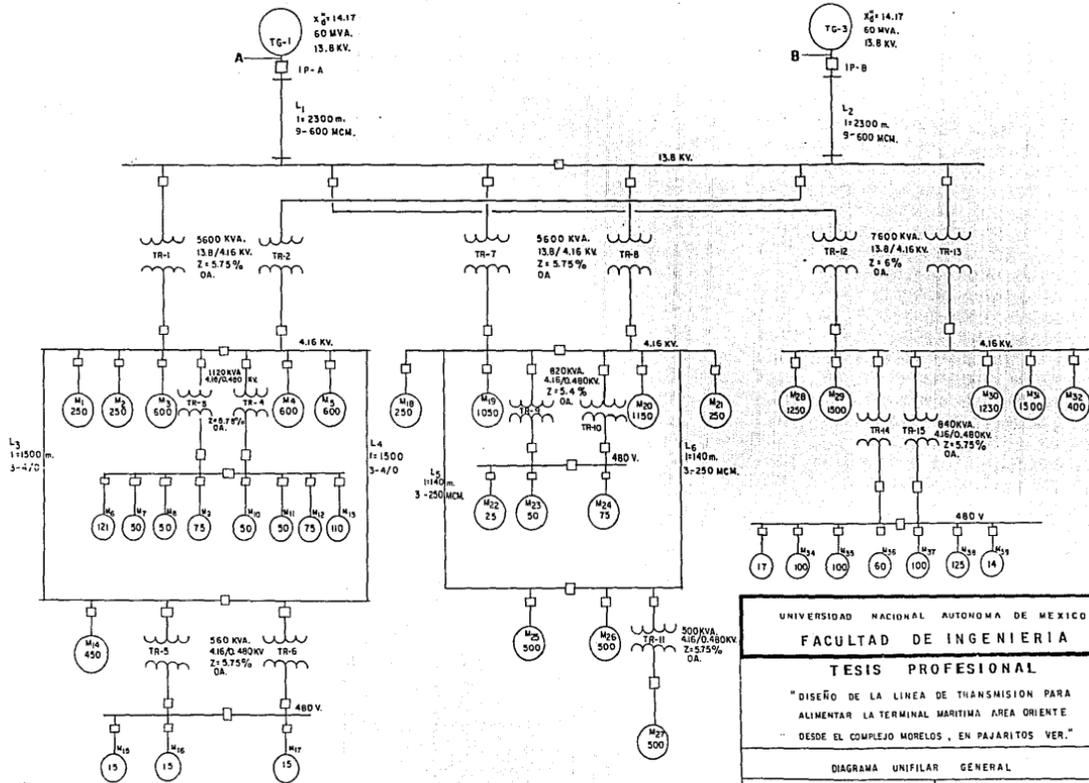
$$P_{cc} = 476,190.48 \text{ K.V.A.}$$

ó

$$P_{cc} = 476.19 \text{ M.V.A.}$$

4.4 Comprobación de los conductores por el criterio de corto circuito.

Para verificar el calibre de los conductores por corto cir-



NOTA. La capacidad de los motores está dada en HP.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
"DISEÑO DE LA LINEA DE TRANSMISION PARA ALIMENTAR LA TERMINAL MARITIMA AREA ORIENTE DESDE EL COMPLEJO MORELOS, EN PAJARITOS VER."		
DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL		
Director: ING. DANIEL S. BECERRIL A.		Alumno CRUZ VILLALOBOS DANIEL
ESCALA	S/E	FECHA 28/7/88
		PLANO IV-1

d) Falla trifásica.

Existen cuatro fuentes que pueden alimentar la corriente de corto circuito:

a) Generadores.

Cuando una falla ocurre sobre un circuito alimentado por un generador, el movimiento ó inercia y el campo de excitación que posee el generador unos instantes después al inicio del corto circuito tiende a seguir alimentando la corriente de falla.

b) Motores Sincronos.

Los motores sincronos son construídos similarmente a los generadores, tienen un campo excitado por corriente directa y un enrollamiento de estator, por el cual fluye la corriente alterna.

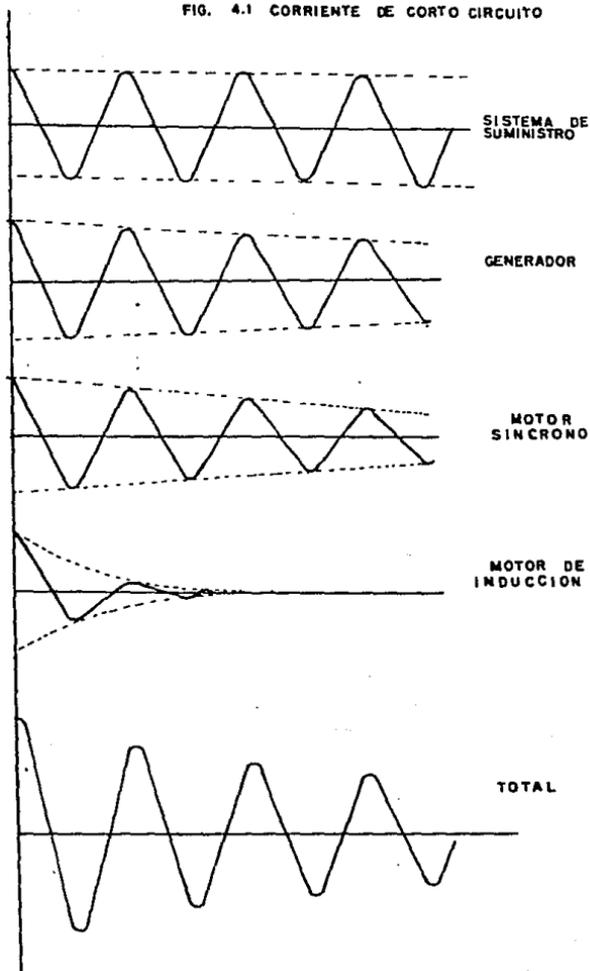
Cuando existe una falla hay una interrupción en el suministro de energía pero debido a la inercia de la carga junto con el campo de excitación tiene el mismo efecto que el generador.

c) Motores de Inducción.

El motor de inducción no tiene devanado de corriente directa, pero hay un flujo en el rotor, durante su operación normal, éste actúa similar al flujo producido por el campo de corriente directa del motor sincrónico.

El campo del motor de inducción es producido por la inducción del estator al rotor, cuando se presenta una falla, el voltaje de suministro es interrumpido, pero el flujo del rotor no puede desaparecer instantaneamente, sino que va decreciendo y unido a la inercia que tiene, genera un voltaje

FIG. 4.1 CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO



que alimenta la corriente de corto circuito.

La magnitud de la corriente de corto circuito alimentada por el motor de inducción depende de la potencia (H.P.), del motor, su reactancia, el rango de voltaje, la reactancia del sistema al punto de falla. El valor inicial de la corriente de corto circuito es aproximadamente igual al valor de la corriente de arranque a voltaje pleno.

Para realizar el cálculo de corto circuito es necesario conocer el valor de la reactancia de todos los componentes -- del sistema, es decir conocer la reactancia de: Los transformadores, generadores, motores y alimentadores (buses, -- cables).

Existen diferentes métodos para realizar un estudio de corto circuito entre los cuales se encuentra el método exacto (componentes simétricas), y los métodos aproximados, en éstos métodos se transforma el sistema original en otro equivalente más fácil de analizar y en el cual están representadas todas las impedancias de los elementos constitutivos -- del sistema, algunos de éstos métodos son:

Método porcentual.

Método de los M.V.A

Método óhmico.

Método de por unidad.

Nuestro cálculo lo basamos en el método por unidad que a -- pesar de ser uno de los métodos aproximados nos simplifica las operaciones y los resultados que se obtienen, son bastante cercanos a los obtenidos por el método exacto y en me

nor tiempo.

La reactancia de las máquinas giratorias no es un valor simple sino que es una variable compleja en función del tiempo cuando se presenta una falla.

Las principales fuentes de corriente de falla son los generadores, de los cuales podemos distinguir para diferente tiempo su reactancia.

Reactancia subtransitoria X_d'' , es la reactancia aparente en los devanados de estator en el instante preciso que ocurre la falla.

Reactancia transitoria X_d' , es el valor aparente de la reactancia del devanado de estator a unos cuantos ciclos de iniciado el corto circuito, ésta reactancia es utilizada para el cálculo de la corriente de falla.

Reactancia sincrónica X_d es el valor de la reactancia cuando se ha alcanzado un estado más estable después de ocurrida la falla, su valor no es utilizado para los cálculos de corto circuito.

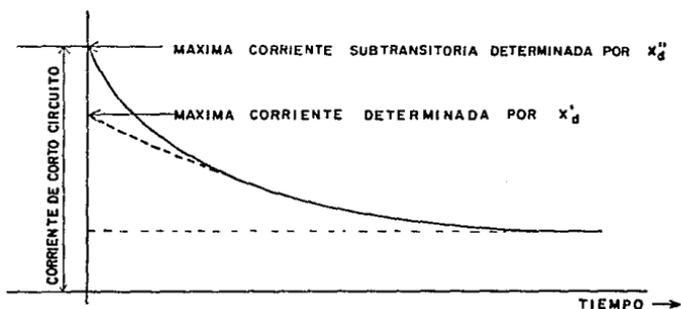


FIG. 4.2 VARIACION EN EL TIEMPO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL GENERADOR

4.2 Método.

Los pasos a seguir en el cálculo de corto circuito son los siguientes:

- a).-- Realizar un diagrama unifilar que contenga representadas todas las fuentes de alimentación, transformadores generadores, motores y alimentadores con sus respectivos valores de reactancia, voltaje, capacidad en H.P. - ó K.V.A.
- b).-- Localizar en el diagrama unifilar el punto donde se desea conocer el corto circuito y establecer el tipo de falla.
- c).-- Representar el sistema en un diagrama de impedancias ó reactancias, las cuales estarán referidas a una base común de K.V.A. ó M.V.A.

Cálculo de las Bases.

Por lo general se eligen las bases de voltaje y potencia - quedando como derivadas, la corriente base y la impedancia-base. Utilizando las expresiones siguientes:

$$I_B = \frac{K.V.A.B}{\sqrt{3} K.V.B} \quad (4.1)$$

$$Z_B = \frac{K.V.B}{\sqrt{3} I_B} \times 1000 \quad (4.2)$$

La reactancia de los generadores la podemos conocer a través de:

$$X_G = \frac{X\% K.V.A.G}{100 K.V.A.G} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.3)$$

Para los transformadores la reactancia se calcula por:

$$X_{TR} = \frac{Z\% \text{ K.V. AB}}{100 \text{ K.V. AFR}} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.4)$$

De igual forma para los motores:

$$X_M = \frac{X\% \text{ K.V. AB}}{100 \text{ K.V. A}_M} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.5)$$

Para:

Motores de Inducción los $\text{K.V. A}_M = \text{H.P.}$

Motores Sincronos $f.p.=1$ $\text{K.V. A}_M = 0.8 \text{ H.P.}$

Motores Sincronos $f.p.=0.8$ $\text{K.V. A}_M = 1 \text{ H.P.}$

La reactancia de las líneas se obtiene de la siguiente manera:

$$X_L = \frac{X \text{ (K.V. AB)}}{1000 \text{ (K V}_L^2)} \quad (\text{p.u.}) \quad (4.6)$$

d).- Reducir el diagrama de impedancias por medio de equivalentes serie - paralelo y calcular la corriente de corto circuito junto con la potencia de corto circuito - con las expresiones siguientes:

$$I_{CC} = \frac{\text{K.V. AB}}{(X_{eq}) (\sqrt{3}) \text{ (K.V. F)}} \quad (4.7)$$

$$I_{CCASIM} = 1.25 I_{CC}$$

$$P_{CC} = \frac{\text{K.V. AB}}{X_{eq}} \quad (4.8)$$

Tabla 4.1 Valores típicos de reactancias para máquinas - de inducción y sincronas, en por unidad del rango K.V.A. de la máquina.

M A Q U I N A	X_d''	X_d'
Turbo generador		
2 Polos	0.09	0.15
4 Polos	0.15	0.23
Generador de polos salientes con devanado rampa		
12 Polos ó menos	0.16	0.33
14 Polos ó más	0.21	0.33
Motores Sincronos	0.15	0.23
6 Polos	0.20	0.30
8 - 14 Polos	0.28	0.40
16 Polos ó más	0.24	0.37
Condensador Sincrono		
Convertidor Sincrono		
600 V.B.C.	0.20	
250 V.D.C.	0.33	
Motores de inducción individuales		
arriba de 600 V.	0.17	
Grupo de motores de inducción cada uno menor de 50 H.P a - 600 volts ó menos.	0.25	

X_d' normalmente no es usada en cálculos de corto circuito
El valor de X_d''

Donde:

- K.V.A_B = Kilovolts - amper base
K.V.A_{TR} = Kilovolts - amper de transformador
K.V.A_M = Kilovolts - amper del motor
K.V.A_G = Kilovolts - amper del generador
Z % = Reactancia en por ciento del equipo
K.V.F = Voltaje de falla (kilovolts)
I_{cc} = Corriente de corto circuito (Amp.)
I_{cc}_{ASIM} = Corriente de corto circuito asimétrica
X_{eq} = Reactancia equivalente (p.u.)
P_{cc} = Potencia de corto circuito
K.V.L² = Voltaje de la línea (kilovolts)

4.3 Memoria de Cálculo.

Cálculo de la reactancia del generador.

Potencia base = 10,000 KVA, X_d" = 14.17 %

Voltaje base = 13.8 KV.

Utilizando la expresión (4.3)

$$X_G = \frac{14.17 (10,000)}{100 (60,000)}$$

$$X_G = 0.0236 \text{ (p.u.)}$$

Cálculo de las reactancias de los transformadores con la expresión (4.4)

$$X_{TR-1} = X_{TR-2} = X_{TR-7} = X_{TR-8} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (5,000)} = 0.1028$$

$$X_{TR-12} = X_{TR-13} = \frac{6 (10,000)}{100 (7,000)} = 0.0789$$

$$X_{TR-3} = X_{TR-4} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (1220)} = 0.4713$$

$$X_{TR-5} = X_{TR-6} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (500)} = 1.0268$$

$$X_{TR-9} = X_{TR-10} = \frac{5.4 (10,000)}{100 (820)} = 0.6585$$

$$X_{TR-11} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (500)} = 1.1500 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{TR-14} = X_{TR-15} = \frac{5.75 (10,000)}{100 (840)} = 0.6845 \text{ (p.u.)}$$

Cálculo de la reactancia de las líneas, aplicando la ecuación (4.6)., Para las líneas L_1 y L_2

$$X_L = 0.1203 \text{ } \Omega/\text{Km}, l = 2.3 \text{ Km}$$

$$X_{L1} = X_{L2} = \frac{0.2767 (10,000)}{1000 (13.8)^2}$$

$$X_{L2} = \underline{0.0145} \text{ (p.u.)}$$

Para las líneas L_3 y L_4 sabemos que, son tres cables por tubo, de calibre 4/0 con una longitud de 1,500 M., para un voltaje de 4.5 KV., de la tabla 3.6

$$L = 0.346 \times 10^{-3} \text{ H/Km.}$$

Por lo que: $\bar{X}_L = l\omega L$

$$X_L = (1.5) (376.99) (0.000346)$$

$$X_L = 0.1956 \text{ } \Omega/\text{Km.}$$

$$X_{L3} = X_{L4} = 0.1956 \quad \frac{10,000}{1000 (4.16)^2}$$

$$X_{L3} = X_{L4} = 0.0113 \quad (\text{p.u.})$$

La línea L_5 al igual que L_6 está formada de tres cables de calibre 250 MCM., con una longitud de 140 M., para un voltaje de 4.5 K.V., de la tabla.

$$L = 0.338 \times 10^{-3} \text{ H/Km}$$

$$X_L = l\omega L$$

$$X_L = (.140) (376.99) (0.000338)$$

$$X_L = 0.0178 \text{ } \Omega/\text{Km.}$$

$$X_{L5} = X_{L6} = 0.0178 \quad \frac{10,000}{1000 (4.16)^2}$$

$$X_{L5} = X_{L6} = 0.010 \quad (\text{p.u.})$$

Cálculo de la reactancia de los motores.

- Los motores agrupados sobre el secundario de un transformador en 480 volts, se pueden agrupar en uno solo, equivalente a la suma de sus potencias en H.P., con una reactancia equivalente a 25%.
- Los motores de inducción aislados en 480 ó 220 volts menores de 50 H.P., pueden desprejarse, ya que su contribución a la corriente de corto circuito es muy pequeña.

La reactancia en por unidad la calculamos mediante la ecuación (4.5)

$$X_{M1} = X_{M2} = \frac{17 (10,000)}{100 (250)} = 6.80 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M3} = X_{M4} = X_{M5} = \frac{17 (10,000)}{100 (600)} = 2.82 \text{ (p.u.)}$$

Agrupando M6, M7, M8, M9.

$$X_{MA} = \frac{25 (10,000)}{100 (296)} = 8.44 \text{ (p.u.)}$$

Agrupando M10, M11, M12, M13.

$$X_{M13} = \frac{25 (10,000)}{100 (285)} = 8.77 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M14} = \frac{17 (10,000)}{100 (450)} = 3.78 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M18} = \frac{17 (10,000)}{100 (250)} = 6.80 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M19} = \frac{17 (10,000)}{100 (1050)} = 1.62 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M20} = \frac{17 (10,000)}{100 (1150)} = 1.48 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M21} = \frac{17 (10,000)}{100 (250)} = 6.80 \text{ (p.u.)}$$

Agrupando M22 y M23.

$$X_{MC} = \frac{25 (10,000)}{100 (75)} = 33.00 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M24} = \frac{17 (10,000)}{100 (75)} = 22.67 \text{ (p.u.)}$$

$$X_{M25} = X_{M26} = X_{M27} = \frac{25 (10,000)}{100 (500)} = 5.00 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M28} = \frac{17 (10,000)}{100 (1250)} = 1.36 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M29} = X_{M31} = \frac{17 (10,000)}{100 (1500)} = 1.13 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M30} = \frac{17 (10,000)}{100 (1230)} = 1.38 \quad (\text{p.u.})$$

$$X_{M32} = \frac{17 (10,000)}{100 (400)} = 4.25 \quad (\text{p.u.})$$

Agrupando los motores: M33, M34, M35, M36.

$$X_{M7} = \frac{25 (10,000)}{100 (277)} = 9.03 \quad (\text{p.u.})$$

Agrupando los motores: M37, M38, M39.

$$X_{M7R} = \frac{25 (10,000)}{100 (239)} = 10.46 \quad (\text{p.u.})$$

El sistema lo tenemos representado en el diagrama de impedancias en la figura 4.3

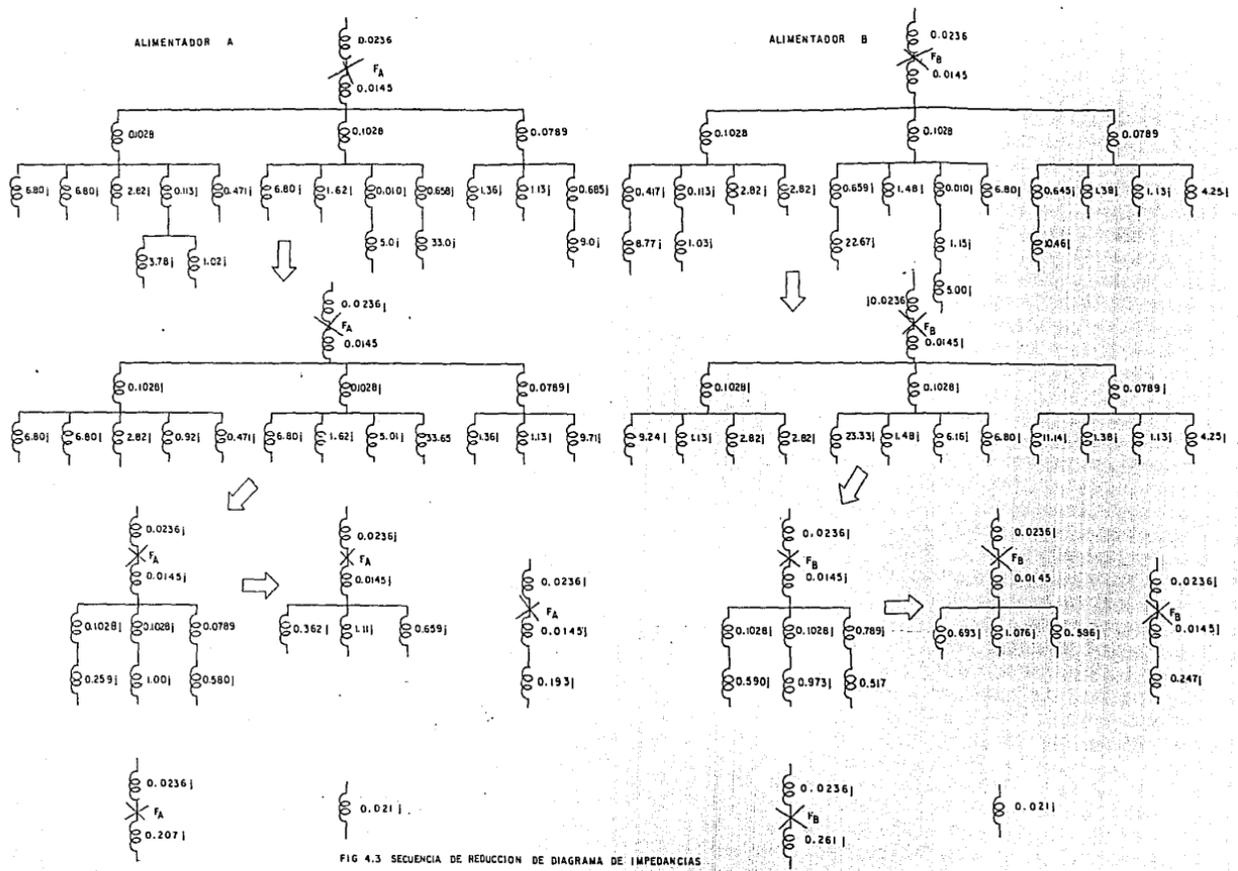


FIG 4.3 SECUENCIA DE REDUCCION DE DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS

Para el cálculo de la corriente de corto circuito empleamos la ecuación (4.7)

$$I_{cc} = \frac{10,000}{(0.021) (\sqrt{3}) (13.8)}$$

$$I_{cc} = 19,922.37 \text{ (Amp.)}$$

La corriente asimétrica de corto circuito es:

$$I_{ASIM} = 1.25 I_{cc}$$

$$I_{ASIM} = 1.25 (19,922.37)$$

$$I_{ASIM} = 24,902.96 \text{ (Amp.)}$$

Por lo que la potencia de corto circuito total es calculada con la fórmula (4.8).

$$P_{cc} = \frac{10,000}{0.021}$$

$$P_{cc} = 476,190.48 \text{ K.V.A.}$$

ó

$$P_{cc} = 476.19 \text{ M.V.A.}$$

4.4 Comprobación de los conductores por el criterio de corto circuito.

Para verificar el calibre de los conductores por corto cir-

cuito, utilizaremos la expresión (4.9), suponiendo un tiempo de ocho ciclos para librar la falla en el sistema por el dispositivo de protección, la temperatura máxima permisible para condiciones de sobrecarga recomendada por el fabricante es de 200°C.

$$I_0 = A \sqrt{\left(\frac{1}{33t}\right)} \log_{10} \left(\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234}\right) \quad (4.9)$$

Donde:

A = área de la sección transversal en circular mil = 600 MCM.

t = Duración del corto circuito = 0.1333 Seg.

T₂ = Temperatura máxima permisible = 200°C.

T₁ = Temperatura de operación = 90°C.

I₀ = Corriente máxima permisible para corto circuito.

$$I_0 = 600\ 000 \sqrt{\left(\frac{1}{33(0.1333)}\right)} \log_{10} \left(\frac{200 + 234}{90 + 234}\right)$$

$$I_0 = 600\ 000 (0.1699)$$

$$I_0 = 101\ 926.3 \quad (\text{Amp.})$$

Para el calibre 600 MCM., la corriente máxima permisible para condiciones de corto circuito (I₀) resultó ser mucho mayor a la corriente de corto circuito (I_{ASIM}) calculada para la falla F₁.

$$I_{ASIM} = 24,902.96 \quad (\text{Amp.})$$

$$I_0 = 101,926.30 \quad (\text{Amp.})$$

$$I_{ASIM} < I_0$$

De donde concluimos que dicho calibre cumple también con el criterio por corto circuito.

4.5 Selección del interruptor.

Para seleccionar un interruptor de potencia es necesario conocer, voltaje nominal, corriente nominal, frecuencia, número de fases, capacidad interruptiva y corriente máxima interruptiva.

Para nuestro caso se requiere un interruptor que cumpla con las siguientes características.

Voltaje nominal 13,800 volts.

Corriente nominal 1402 Amp.

Frecuencia 60 Hz.

Número de fases 3

Capacidad interruptiva 470.19 MVA.

Corriente interruptiva 24.902 Amp.

En base a la información del fabricante (anexa en el apéndice) seleccionamos un interruptor en aire, removible marca - IRM ó similar tipo 150 D H R P - 500 cuyas características técnicas son:

Voltaje nominal 13,800 volts.

Corriente nominal 2000 Amp.

Frecuencia 60 Hz.

Número de fases 3

Capacidad interruptiva 500 M.V.A.

Corriente interruptiva máxima 25,000 Amp.

CAPITULO 5

CANALIZACIONES E INSTALACION.

5.1 Trazo y localización.

En todo proyecto enfocado a implementar una línea de transmisión, uno de los primeros pasos, de vital importancia es efectuar un reconocimiento topográfico del terreno con el objeto de trazar la ruta óptima y más factible tomando en consideración, aspectos técnicos y económicos.

Para nuestro caso, en que el terreno ya se encuentra urbanizado, seleccionamos la trayectoria más corta teniendo cuidado de no tener intersección con líneas de proceso y comunicaciones como se muestra en el plano No. V.I en donde se muestra la localización de los turbogeneradores en la planta de Servicios Auxiliares y la Subestación de la terminal-marítima area oriente.

La distancia máxima entre registros de paso será de 80 metros en tramos rectos, y se localizarán registros de cambio de dirección en donde sea necesario quedando el arreglo siguiente, mostrado en el plano. V.I.

5.2 Ductos Subterráneos.

Es el conjunto de elementos requeridos para alojar los conductores con el proposito de protegerlos de daño mecánico y el medio ambiente.

Utilizamos para el proyecto un banco de tuberías que deberán alojarse en concreto armado coloreado en rojo con una resistencia de 175 Kg/cm^2 con agregado de 2 cm., máximo, el colorante con una proporción de 7:25 Kg/M^3 ., con impermeabilizante integral de polietileno a lo largo de todo el ducto

Como se muestra en la figura 5.1.

Varillas verticales de 13 mm. de ϕ clavadas en el terreno y espaciadas cada 3 000 mm.

Varillas horizontales de 13 mm., de ϕ para soporte espaciadas cada 3000 mm.

Se utilizará tubería de Asbesto-Cemento de un ϕ acorde con el siguiente cálculo.

Cálculo del ϕ la tubería conduit.

Cada tubo alojará tres conductores de 600 M.C.M., uno por fase, los que ocuparán el 40% del área transversal.

El área total de los conductores es:

$$A_C = 3 \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3 (3.1416) (39.5)^2}{4}$$

$$A_C = 3676 \text{ mm.}^2$$

El área del tubo conduit deberá ser:

$$A_T = (100) \frac{(3474.35)}{(40)} = 9191 \text{ mm.}^2$$

$$\phi \text{ TUBO} = \sqrt{\frac{4 A_T}{\pi}}$$

$$\phi \text{ TUBO} = \sqrt{\frac{(4) (9191)}{(3.1416)}}$$

$$\phi \text{ TUBO} = 108.18 \text{ mm.}$$

Corresponde a un tubo con diámetro nominal de 127 mm. (5")

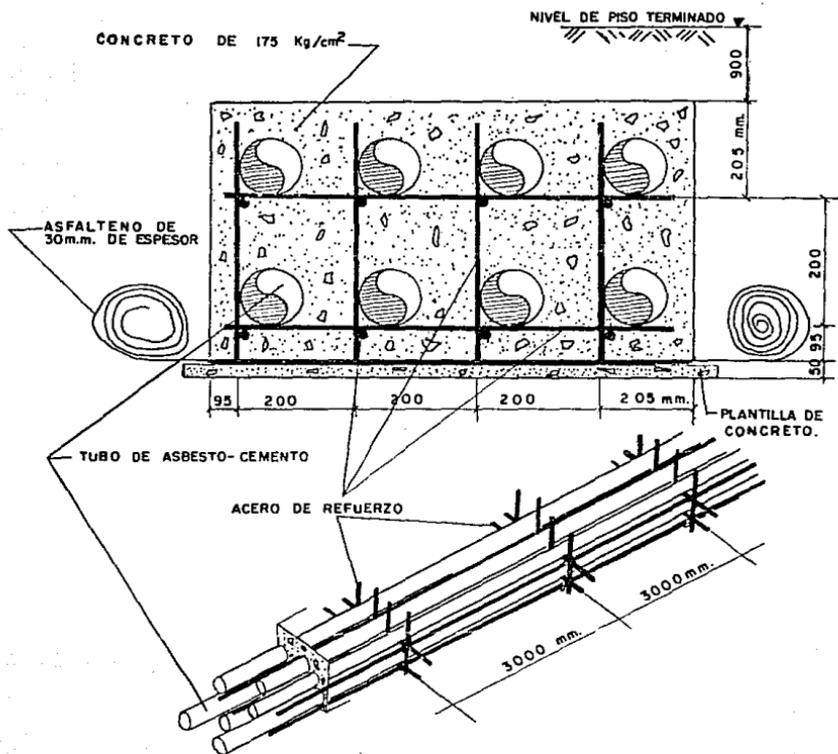
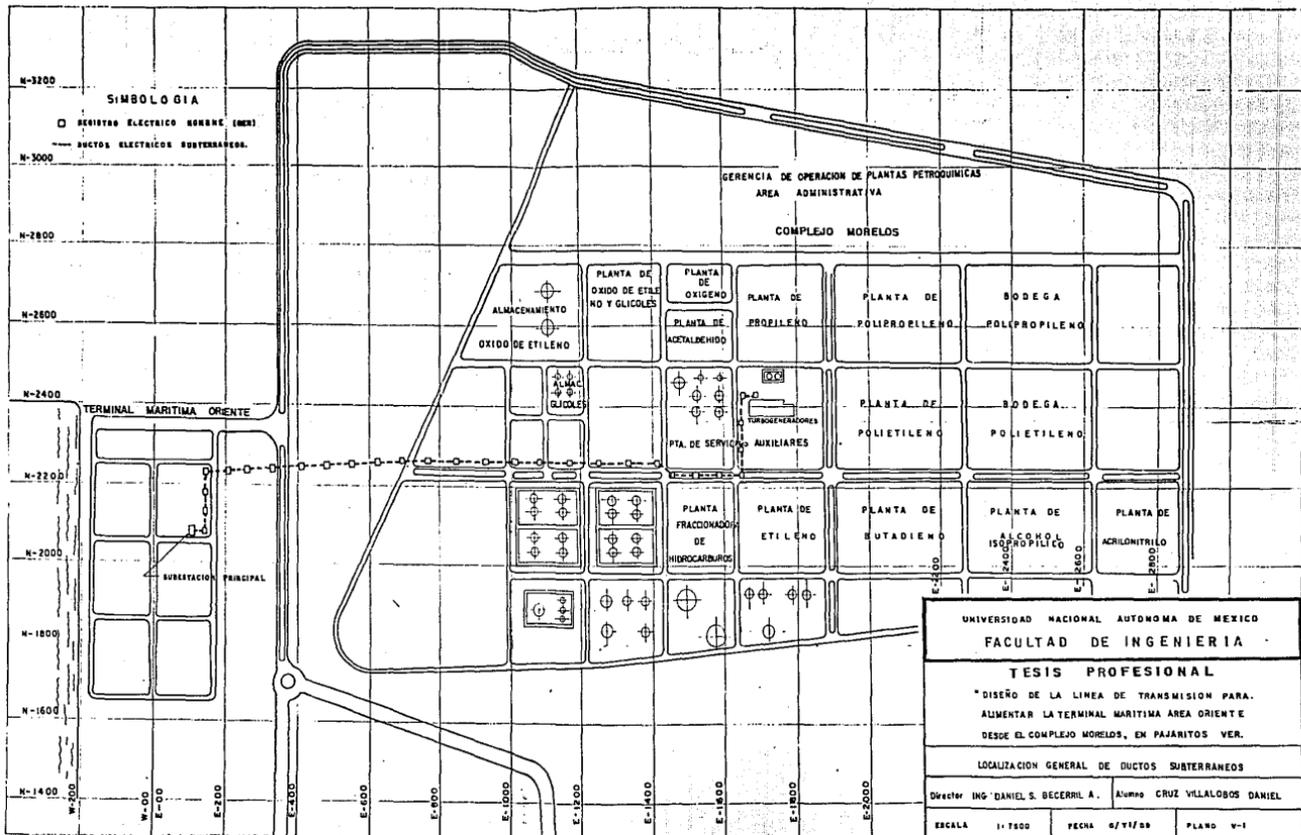
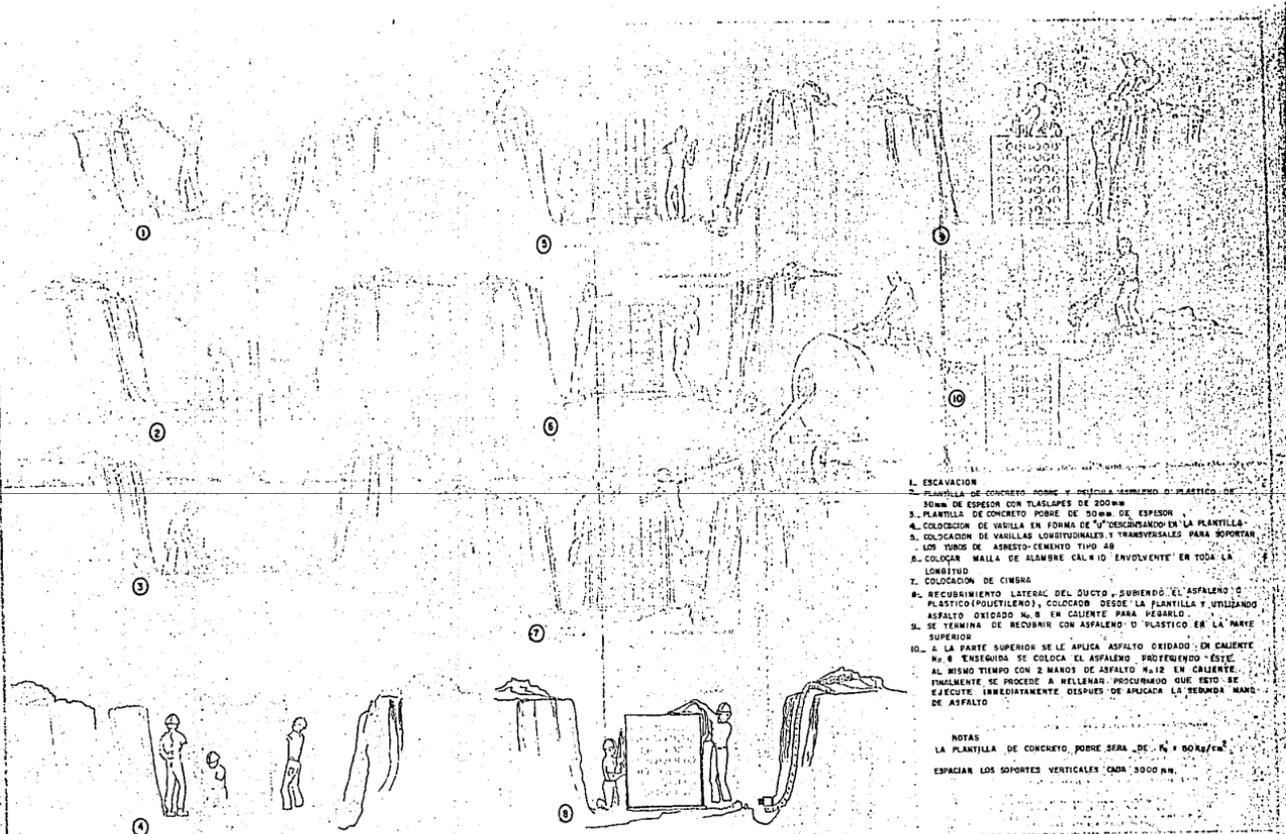


FIG. 5.1 MONTAJE DE UN BANCO DE DUCTOS





1. ESCAVACION
2. PLANTILLA DE CONCRETO PORRE Y DEFICIAS LLENADO DE PLASTICO DE 30MM DE ESPESOR CON TIRAS DE 200MM
3. PLANTILLA DE CONCRETO PORRE DE 30MM DE ESPESOR
4. COLOCACION DE VARILLA EN FORMA DE "Y" DESARROLLADO EN LA PLANTILLA
5. COLOCACION DE VARILLAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES PARA SOPORTAR LOS TUBOS DE ASBESTO-CEMENTO TIPO 48
6. COLOCACION MALLA DE ALAMBRE CAL#10 ENVOLVENTE EN TODA LA LONGITUD
7. COLOCACION DE CEMENTO
8. RECUBRIMIENTO LATERAL DEL DUCTO, SUREDO EL ASFALTO O PLASTICO (POLIETILENO), COLOCACION DESDE LA PLANTILLA Y UTILIZANDO ASFALTO OXIDADO N. 8 EN CALIENTE PARA PEGARLO
9. SE TERMINA DE RECUBRIR CON ASFALTO O PLASTICO EN LA PARTE SUPERIOR
10. A LA PARTE SUPERIOR SE LE APLICA ASFALTO OXIDADO EN CALIENTE N. 8 EN SIEMPRE SE COLOCA EL ASFALTO PROFUNDO EN ESTE AL MISMO TIEMPO CON 2 MANOS DE ASFALTO N. 12 EN CALIENTE, FINALMENTE SE PROCEDE A LLENAR PROCURANDO QUE ESTO SE EJECUTE INMEDIATAMENTE DESPUES DE APLICAR LA SEGUNDA MANO DE ASFALTO

NOTAS
 LA PLANTILLA DE CONCRETO, PORRE SEAL DE N. 4 x 30x2/cm
 ESPACIAR LOS SOPORTES VERTICALES CADA 3000 MM.

FIG. 5.1A PROCESO CONSTRUCTIVO DE DUCTOS ELECTRICOS

5.3 Registros.

Un registro eléctrico, es la parte de un ducto en donde los conductores pueden empalmarse, cambiar de dirección ó modificar su altura de instalación.

Los registros se fabricarán en concreto armado con una resistencia de 175 Kg/cm^2 , en tramos rectos se colocarán registros de paso a cada 80 metros como máximo y de cambio de dirección donde sea necesario. El arreglo final de registros y ductos subterráneos se muestra en el plano V.I.

Las dimensiones del registro dependerán de los radios mínimos de curvatura recomendados por el fabricante, procurando dejar espacio suficiente para la instalación y mantenimiento de los conductores.

Para un cable 600 MCM.

$$\varnothing \text{ TOTAL} = 39.5 \text{ mm.}$$

$$\varnothing \text{ AIS} = 31.7 \text{ mm.}$$

$$\varnothing \text{ COND.} = 20.7 \text{ mm.}$$

Los fabricantes recomiendan un radio mínimo de curvatura para instalación de doce veces el diámetro exterior en cables con pantalla metálica.

$$\text{RMC} = 12 (39.5)$$

$$\text{RMC} = 474 \text{ mm.}$$

Tomando en cuenta la trayectoria del cable dentro de los registros de paso obtenemos los requerimientos mínimos de espacio.

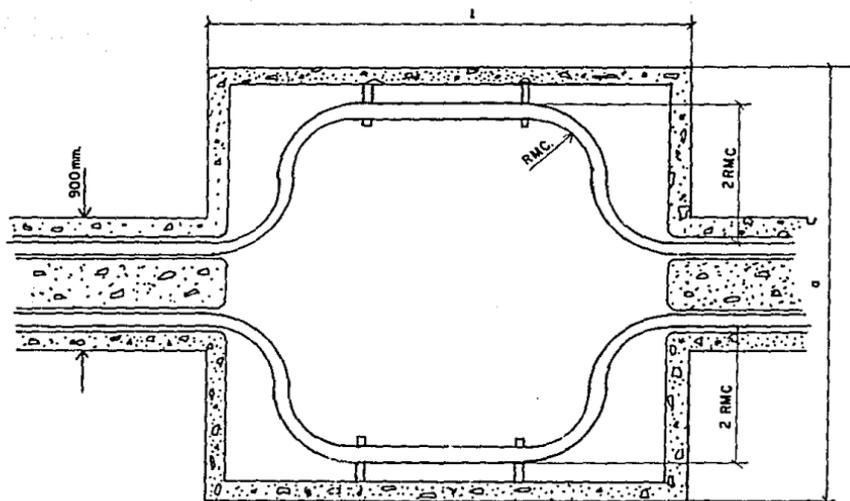


FIG. 5.2 REGISTRO ELECTRICO TIPO

La longitud total del ancho es:

$$a = 900 + 4 \text{ RMC} = 2796 \text{ mm.}$$

Magnitud que aproximamos, dejando un porcentaje adicional - para maniobrar, por lo tanto.

$$a = 3000 \text{ mm.}$$

Para el largo consideramos la misma longitud

$$l = 3000 \text{ mm.}$$

Los registros deberán ir completamente impermeabilizados para evitar la entrada de agua, debido a que el nivel freático en la zona se encuentra a poca profundidad de la superficie del terreno.

Los cables se soportarán dentro de los registros en la forma que indica en la figura 5.3

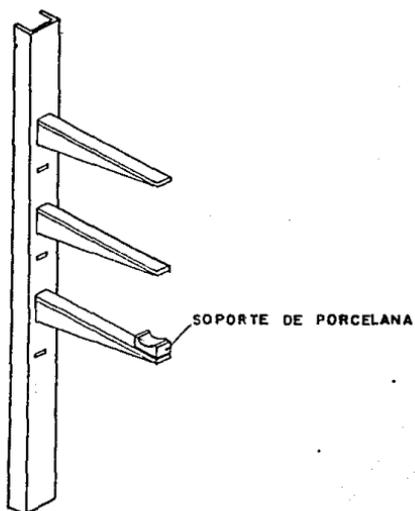
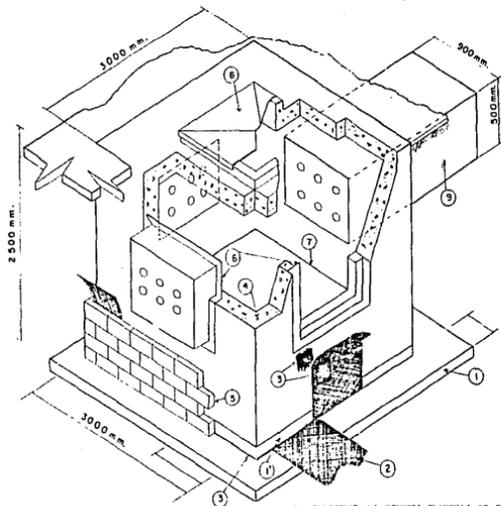


FIG. 5.3 BRAZO TIPO INDUSTRIAL



1. PRIMERA PLANTILLA DE CONCRETO POBRE
2. SEGUNDA PLANTILLA DE CONCRETO POBRE
3. POLIETILENO CUBRIENDO EL FONDO Y LOS CUATRO COSTADOS
4. APLICACION DE DOS MANOS DE FM-3 COMO IMPERMEABILIZANTE ADHESIVO Y PROTECCION DE POLIETILENO EN LA CARA DEL CONCRETO PARA PEGAR Y LA OTRA PARA PROTECCION
5. CAJON DE CONCRETO.
6. MURO CAPUCHINO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO A PAÑO CON LA PARED DEL REGISTRO SIN LÁSTIMAR EL IMPERMEABILIZANTE DE POLIETILENO
7. BANDA DE PVC DE 100MM. DE ANCHO
8. ANILLOS DE REOPRENO
9. TAPA DE REGISTRO ELECTRICO
10. DUCTO ELECTRICO DE CONCRETO
- 10.- CANTON ASFALTADO RUBENIO O SIMILAR, COLOCARLO ASFALTO SOBRE EL MURO

NOTAS

CONCRETO EN REGISTROS $f' = 175 \text{ kg/cm}^2$, EN PLANTILLA $f' = 50 \text{ kg/cm}^2$
 ACERO DE REFUERZO $F = 4200 \text{ kg/cm}^2$ A.S.T.E. A-618 GRADO 40

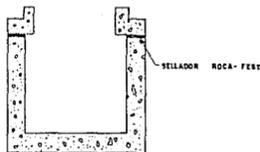
EL REGISTRO ELECTRICO SERA PREFABRICADO TENIENDO PREPARADO EL NUMERO DE VENTANAS QUE LLEVARA CADA CAJON DE CONCRETO

LA LORA SUPERIOR TAMBIEN SERA PREFABRICADA DEJANDO PREPARADO SU BORDO PARA LA TAPA DEL REGISTRO Y EN LA LORA SUPERIOR CON EL MURO LLEVARA UN SELLADOR DEL TIPO ROCA-FEST O SIMILAR.

TODO EL CONCRETO PARA REGISTROS LLEVARA UN ADITIVO IMPERMEABILIZANTE (FESTERVAL O SIMILAR) LOS REGISTROS ELECTRICOS SE IMPERMEABILIZARAN EXTERIORMENTE CON POLIETILENO O ASFALTO EN TODAS LAS CARAS

NO SE RECIBIRA NINGUN REGISTRO SI NO ESTÁ TOTALMENTE HERMETICO AL PASO DE AGUA
 DIAMETRO MAXIMO DEL ASBESADO = 25 mm. (1")

- A. CONSTRUIR LA PRIMERA PLANTILLA DE FONDO
- B. COLOCAR LA CUBIERTA DE POLIETILENO "2"
- C. CONSTRUIR SOBRE "2" LA SEGUNDA PLANTILLA "1"
- D. SE COLOCARA EL CAJON DE CONCRETO MEDIANTE UNA PLUMA DE OPERACION MANUAL Y SE HANAN LAS MANIOBRAS NECESARIAS HASTA LLEGAR LA POSICION INDICADA EN PROYECTO
- E. APLICAR SELLADOS DE TIPO ROCA-FEST O SIMILAR EN TODO EL ESPESOR DEL MURO Y COLOCAR LA LORA SUPERIOR.
- F. COLOCAR BANDA DE PVC. DE 100MM. DE ANCHO
- G. COLOCAR DUCTOS ELECTRICOS CON SUS RESPECTIVOS ANILLOS
- H. APLICAR ASFALTO FM-3 EN MUROS "3"
- I. COLOCAR PROTECCION DE POLIETILENO EN MURO "2" O ASFALTO 120/1000
- J. APLICAR ASFALTO FM-3 SOBRE EL POLIETILENO "3"
- K. CONSTRUIR MURO CAPUCHINO "6"
- L. RELEVAR Y COMPACTAR



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
"DISEÑO DE LA LINEA DE TRANSMISION PARA ALIMENTAR LA TERMINAL MARITIMA AREA ORIENTE DESDE EL COMPLEJO MORELOS, EN PAJARITOS VER.		
DETALLES CONSTRUCTIVOS DE REGISTROS ELECTRICOS		
Director ING. DANIEL S. BECERRIL A.	Alumno CRUZ VILLALOBOS DANIEL	
ESCALA 5/8	FECHA 6/VI/80	PLANO V-11

La altura será de 2 500 mm., para tener mayor espacio para maniobrar satisfactoriamente.

En resumen las dimensiones del registro son las siguientes:

ancho (a) = 3 000 mm.

largo (l) = 3 000 mm.

alto (h) = 2 500 mm.

En la figura VII tenemos detalles constructivos de un registro eléctrico hombre (RFH) típico

5.4 Instalación de los conductores.

Antes de la introducción de los conductores, es necesario - verificar las condiciones interiores de los ductos así como hacer una limpieza exhaustiva para asegurar que el interior esté en condiciones de aceptar el cable sin dañarlo, para - lo cual se usan dispositivos metálicos que se hacen atravesar el ducto.

Como es mostrado en la figura 5.4



FIG. 5.4 DISPOSITIVO PARA LIMPIEZA DE DUCTOS

Además debe tenerse especial cuidado en los siguientes puntos, los cuales son limitaciones impuestas por las propiedades físicas del cable.

Tensión máxima de jalado

Presión lateral

Fricción.

5.4.1 Tensión máxima de jalado.

Una tensión excesiva en el jalado de los cables puede ocasionar una deformación en el cable por alargamiento del conductor y el desplazamiento de los componentes de la cubierta, creando espacios vacíos y posibles puntos de falla por efecto corona.

La tensión máxima para cables con cubierta de plomo no deberá ser mayor de 2 700 Kg., para la instalación en ductos subterráneos, la tensión máxima permisible en los conductores es:

$$T_m = K T_0 (d'-t) \quad \dots \dots (5.1)$$

Si queremos conocer la tensión de jalado en determinado punto utilizamos la siguiente expresión.

$$T_j = w f L W \quad \dots \dots (5.3)$$

Donde interviene el factor de corrección por peso, w el cual lo conocemos con:

$$w = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}} \quad \dots \dots (5.4)$$

Para las expresiones anteriores.

$T_0 = 7.0 \text{ Kg/mm.}^2$, esfuerzo máximo para el cobre recomendado por el fabricante.

$f = 0.5$ coeficiente de fricción.

$L = 80$ longitud de tramo.

$K = 3.3$ constante para cables con cubierta de plomo

- $W = 6.884 \text{ Kg/m.}$, peso del cable.
 $d = 39.5 \text{ mm.}$, diámetro exterior del cable.
 $t = 3 \text{ mm.}$, espesor de la cubierta de plomo.
 $d' = 35.4 \text{ mm.}$, diámetro sobre la cubierta.

Cálculo de la tensión máxima permisible con la ecuación --
 (5.1)

$$T_m = (3.31) (7.0) (35.4 - 3)$$

$$T_m = 750 \text{ Kg.}$$

Cálculo del factor de corrección por peso.

$$w = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{39.5}{125 - 39.5}\right)^2}}$$

$$w = 1.12$$

Para calcular la tensión de jalado de un registro a otro --
 nos auxiliaremos con la figura 5.5 para identificar --
 las componentes.

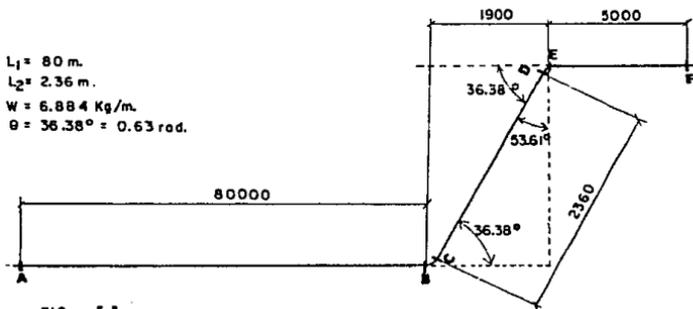


FIG. 5.5

Tensión en B $T_B = wL_1W = 1.12 (0.5) (80) (6.884)$

$T_B = 308.40 \text{ Kg.}$

Tensión en C $T_C = T_B e^{\theta wL} = 308.40 e (0.63) (1.2) (0.5)$

$T_C = 438.87 \text{ Kg.}$

Tensión en D $T_D = T_C + wL_2W = 438.87 + 1.12 (0.5) (2.36)$

$(6.884) = 438.87 + 9.10$

$T_D = 447.97 \text{ Kg.}$

Tensión en E $T_E = T_D e^{\theta wL} = 447.97 e (0.63) (1.12) (0.5)$

$T_E = 637.48 \text{ Kg.}$

De los cálculos anteriores observamos que la instalación es conveniente ya que no excedemos la tensión máxima permisible para nuestro conductor.

$637.48 < 750 \text{ Kg.}$

$T_E < T_m$

Presión lateral.

La presión lateral es la fuerza radial ejercida sobre el aislamiento y cubierta de un cable cuando está bajo tensión se obtiene con la siguiente fórmula.

$P_L = \frac{w T^1}{2 R} \dots \dots \dots (5.5)$

$T^1 = T_B e^{wL\theta} \dots \dots \dots (5.6)$

Donde θ es el ángulo de jalado dado en radianes, R es el -

radio mínimo de curvatura en metros, en el momento de instalar = 0.474 m. de la figura 3.6 observamos:

que $T^i = T_C$

Por lo tanto.

$$P_L = \frac{1.12 (438.87)}{2 (0.474)}$$

$$P_L = 518.49 \text{ Kg.}$$

El cual es un valor permisible.

Fricción.

Es la fuerza de reacción que se opone al desplazamiento del cable dentro del ducto y depende de la cubierta exterior -- del cable del número de cables en el tubo y del material -- del tubo. Normalmente se usa un valor de 0.5 como coeficiente de fricción, con la finalidad de disminuir la fricción se usará un lubricante a base de talco industrial.

El equipo necesario para instalación de los conductores es el siguiente.

- Desenrollados con flechas y collarines.
- Malacate de capacidad adecuada.
- Rodillos.
- Calcetín de presión.
- Equipo de comunicación.
- Guía de fibra de vidrio.

Recomendaciones para la instalación.

- 1.- No golpear, ni dejar caer los carretes durante su transporte.

- 2.- Identificar cada cable en las puntas.
- 3.- Sellar las puntas de los cables hasta la instalación de terminales ó empalmes.
- 4.- Sellar la sección transversal de los ductos para evitar la entrada de objetos extraños.
- 5.- Contar de preferencia con equipo de medición de tensión mecánica (Dinamómetro).
- 6.- La velocidad de jalado no será mayor de 15 m/min.
- 7.- Es recomendable dejar una cantidad de cable (cooa) en los registros adyacentes a las terminales.
- 8.- Para tener reserva para posibles fallas que se presenten.

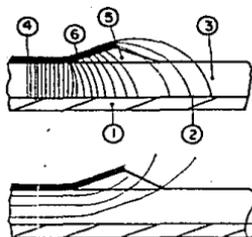
5.5 Terminales.

Una terminal es la parte complementaria de un cable de energía con la cual es posible hacer la transición entre líneas subterráneas y aéreas, de cable a equipo ya sean transformadores, interruptores ó seccionadores.

La utilización de terminales en cables aislados tienen como función reducir y controlar los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al retirar la pantalla sobre el aislamiento, además de proporcionarle una distancia de fuga aislada adicional, mejorando la hermeticidad total del cable.

Para nuestro proyecto utilizaremos las terminales de clase tres, de acuerdo a la clasificación de la norma NOM-199 para hacer la conexión con los interruptores de potencia.

Dicha terminal es de tipo interior premoldeada con cono de alivio para reducir y controlar los esfuerzos eléctricos.



1. CONDUCTOR
2. PANTALLA SOBRE CONDUCTOR
3. AISLAMIENTO
4. PANTALLA SOBRE AISLAMIENTO
5. BASE DEL CONO DE ALIVIO
6. PLANO DE TIERRA

FIG. 5.6 CONTROL DE LOS ESFUERZOS ELECTRICOS CON CONO DE ALIVIO

El cono de alivio está constituido de materiales elastoméricos premoldeados, uno de éstos materiales elastoméricos es aislante y otro es semiconductor, unidos perfectamente en el proceso de fabricación. La figura 5.7 nos muestra un detalle constructivo.

Tensión	6	4	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	250	300	350	400	500	600	750	1000
5 kV	RR			R												
8 kV	RR		R			1				2			3		4	5
15 kV				1			2				3			4		5
25 kV			2					3				4			5	6
34.5 kV									4							5

TABLA 5.1 a

Dímetro sobre aislamiento (H) (mm)	Tamaño TIP	Dimensión G
11.5 - 14.0	RR	46.0
13.8 - 16.5	R	53.5
16.3 - 20.0	1	53.5
19.8 - 23.5	2	62.8
23.3 - 27.0	3	66.3
26.8 - 31.0	4	69.8
30.8 - 35.0	5	76.0
34.8 - 40.0	6	80.5
38.0 - 46.0	7	103.0
42.0 - 50.0	8	103.0

TABLA 5.1 b

Se selecciona en base al voltaje de operación y al diámetro sobre el aislamiento de cable.

En nuestro caso necesitamos una terminal para 15 KV de un diámetro igual a 29.4 mm., por lo que seleccionamos la terminal "TIP" tamaño 5 de acuerdo a las tablas del fabricante (CONDUMEX).

- L. CONDUCTOR
- 2. AISLAMIENTO
- 3. BLINDAJE ELECTROSTATICO DEL CABLE
- 4. CONO TIP
- 5. CONEXION A TIERRA
- H. DIAMETRO SOBRE EL AISLAMIENTO
- G. DIAMETRO EXTERNO DE LA TERMINAL

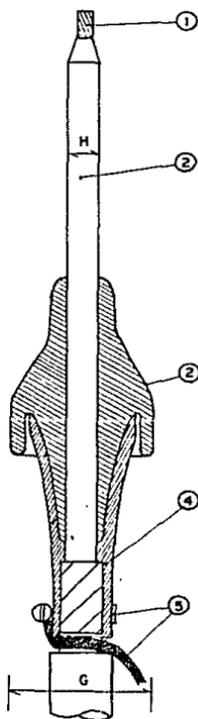


FIG. 5.7 DETALLE CONSTRUCTIVO DE LA TIP

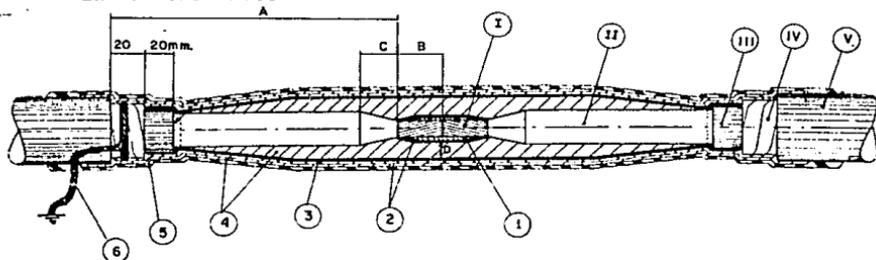
5.6 Empalmes.

Se entiende por empalme la conexión y reconstrucción de todos los elementos que constituyen un cable de energía.

Existen varios tipos de empalmes, los cuales son identificables considerando los materiales utilizados y la forma en que se aplica. Son los siguientes:

- a) Encitados.
- b) Moldeados en fabrica.
- c) Moldeados en campo.
- d) Termococontractiles.

Los de uso más generalizado por su fácil aplicación y menor costo son los empalmes encintados, en los cuales la restitución de los diferentes componentes del cable a excepción del conductor, se lleva a cabo aplicando cintas en forma sucesiva hasta obtener todos los elementos del cable en todas las uniones rectas.



- I. CONECTOR DE COMPRESION.
2. CINTA SEMICONDUCTORA
3. MALLA DE COBRE
4. CINTA BI-SEAL
5. CINTA VINILICA CON ADHESIVO
6. TRENZA PLANA ESTANADA

- I. CONDUCTOR
- II. AISLAMIENTO
- III. CUBIERTA SEMICONDUCTORA
- IV. PANTALLA DE COBRE
- V. CUBIERTA DE PVC.

FIG. 5.8 EMPALME RECTO C.P.M.

Se utilizará el empalme C.P.M. Mca. Condux para 15 K.V. - en cable calibre No. 600 M.C.M., de acuerdo a las guías para pedido es:

C.P.M. - 9x600-Cu-13.8

No. de cables por unir _____
Calibre de los conductores _____
Material del conductor (Al, Cu) _____
Nivel de voltaje _____

Secuencia de pasos a seguir en un empalme encintado.

- 1.- Presentarse los extremos del cable por empalmar en su posición definitiva, corte el sobrante a escuadra.
- 2.- Cortese y retírese la cubierta del cable a una distancia "A" + "B" en ambos extremos, al hacer los cortes - tenga cuidado de no marcar ó cortar la pantalla. (ver - figura 5.8).
- 3.- Cortese y retírese la cubierta de plomo a partir de 20- mm., después del corte de la cubierta. Teniendo cuidado de no marcar ni cortar el aislamiento.
- 4.- Cortese y retírese el material semiconductor del cable a 20 mm., después del corte de la cinta de cobre (ambos extremos).
- 5.- Cortese y retírese el aislamiento en el extremo del cable a la distancia "A" más 10 mm., Hágase lo mismo en - el otro extremo.
- 6.- Haga un punta de lápiz en el extremo del aislamiento a la distancia C procurando que su superficie quede tan - tersa como la de éste. Use lija de vidrio.

- 7.- Coloque el conector del tipo compresión ó únase los conductores por medio de soldadura.
- 8.- Con un paño humedecido con solvente (tricloetano ó tricloroetileno) limpie perfectamente toda la superficie del aislamiento expuesta.
- 9.- Sillense las muescas dejadas por la pinza, usando rollitos de cinta semiconductora.
- 10.- Ponga una capa de cinta semi-conductora sobre el conector ó soldadura, hasta 1 mm., sobre el comienzo de la punta del lápiz. De un traslape de 50% y mínima tensión.
- 11.- Para la reconstrucción del aislamiento úsese cinta aislante auto-adherible (Bi - seal ó equivalente), encintando primero sobre el conector hasta igualar el diámetro del aislamiento del cable, después sígase encintando hacia ambos lados sobre el aislamiento de éste hasta 5 mm., antes del material semiconductor del cable en los extremos después sígase poniendo varias capas de cinta, hasta tenerse como mínimo el espesor D y el con-torno apropiado como muestra la figura 5.8.
- 12.- Ponga una capa de cinta semiconductor auto-adherible sobre el empalme empezando sobre el material semiconductor del cable y terminando hasta el otro extremo, tras-lape de 50% y la tensión reduzca 2 mm., máximo.
- 13.- Póngase una capa de malla de cobre estañada sobre el empalme con 50% de traslape empezando sobre la pantalla metálica de un extremo terminado en el otro soldese en sus extremos procurando aplicar el mínimo calor al el -

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MEXICO
 SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

cable tiene cubierta de plomo, además suéldese una trenza de cobre estañada No. 4 AWG., del plomo de un extremo de empalme al otro.

- 14.- Suéldese en uno de los extremos del empalme sobre la malla una trenza de cobre estañado No. 12 AWG., de longitud suficiente para conexión a tierra del sistema (empalme).
- 15.- Para la reconstrucción de la cubierta en el empalme póngase dos capas de cinta aislante, como mínimo, empezando 50 mm., sobre la cubierta del cable con 50% de traslape.
- 16.- Póngase por último dos capas de cinta vinílica sobre la cinta anterior, pero empezando 25 mm., más allá del comienzo de la cinta aislante con 50% de traslape y suficiente tensión en las últimas capas.
- 17.- Para asegurar la calidad en la mano de obra de la instalación y las conexiones, ejecútese las pruebas de alta-tensión, usando equipo de corriente directa en todo tipo de cable.

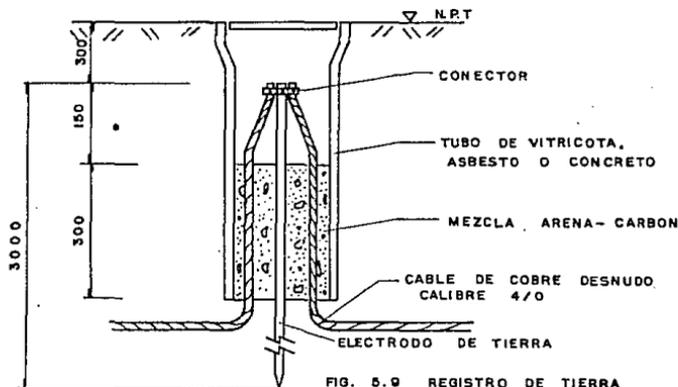
DIMENSION	VOLTAJE DE OPERACION			
	5 KV	15 KV	23 KV	35 KV
A (mm)	143	200	250	320
B	60	60	60	60
C	19	25	51	77
D	1.5 veces el espesor del aislamiento del cable			

5.7 Fuesta a tierra.

La conexión a tierra en todo equipo eléctrico es muy importante para garantizar la seguridad del personal. Se conecta a tierra todas aquellas partes metálicas del equipo no conductoras de la corriente nominal, como estructuras de soporte, carezas ó cubiertas metálicas, para el caso de cables de energía con pantalla metálica. Se deberá aterrizarse ésta, en todos los puntos accesibles al personal, principalmente en los empalmes y terminales.

Se hará la conexión a la red general de tierra, que deberá ir en cable de cobre desnudo calibre 4/0 incluido en los mismos ductos.

Adicionalmente se realizará un registro de tierra en cada empalme, a donde se conectará la red de tierra y la pantalla metálica, la figura 5.9 muestra un detalle típico de un registro de tierra.



Acot. mm.

CAPITULO 6

PRUEBAS DE ACEPTACION EN CAMPO.

6.1 Generalidades.

Las pruebas a los equipos eléctricos constituyen una herramienta muy útil dentro de la Ingeniería Eléctrica, ya que - por medio de éstas conocemos las condiciones en que se encuentran los equipos.

En terminos generales podemos distinguir tres tipos de pruebas.

- Pruebas de fabricación.
- Pruebas de aceptación en campo
- Pruebas de mantenimiento preventivo.

En ésta sección nos enfocaremos basicamente a las pruebas de aceptación ó pruebas de campo para recepción de equipo de reciente instalación.

El propósito de éstas pruebas es de tener la seguridad de que los equipos se encuentran en condiciones de entrar en servicio, después de haber sido instalados. Antes de energizar un equipo por primera vez, es necesario detectar posibles daños durante su embarque ó errores en la mano de obra durante su instalación.

Los equipos que nos interesa verificar su estado para entrar en operación son los cables y el interruptor de potencia de nuestro proyecto, a los cuales realizaremos las siguientes pruebas.

A los cables.

- Prueba de resistencia de aislamiento.
- Prueba de potencia aplicado.

Al interruptor.

- Prueba de resistencia de aislamiento.
- Prueba de potencial aplicado.
- Prueba de la resistencia de los contactos.

6.2 Pruebas eléctricas a cables.

6.2.1 Prueba de resistencia de aislamiento.

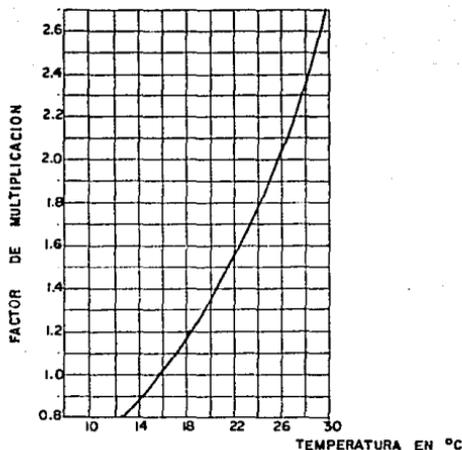
Esta prueba nos da una idea clara de las condiciones en que se encuentra el cable y sus conexiones (empalmes y terminales). Antes de efectuar la prueba es conveniente calcular la resistencia de aislamiento analíticamente con la ecuación (6.1), donde K es una constante que depende del material del aislamiento, D es el diámetro interior de la pantalla metálica en mm., y d es el diámetro bajo el aislamiento en mm.

$$R_{AIS.} = K \log_{10} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (6.1)$$

El valor se obtiene en Mc-Km., el cual debemos corregir por temperatura y longitud.

Aislamiento	K(Mc/Km)
Papel impregnado	3,000 a 20° C
PVC bajo voltaje	150 a 15.6° C
PVC alto voltaje	750 a 20° C
Polietileno	15,250 a 15.6° C
Polietileno vulcanizado	6,100 a 15.6° C
Cambray barnizado	1,000 a 15.6° C
Etileno propileno	6,100 a 15.6° C

Tabla 6.1 Valores de K para diferentes materiales.



GRAFICA 6.1 FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA

Cálculo de la resistencia de aislamiento con la expresión -
(6.1).

$$D = 31.7$$

$$d = 20.7 \quad R_{AIS} = 6,100 \left(\log_{10} \frac{31.7}{(20.7)} \right)$$

$$R_{AIS} = 1120.04 \text{ Mn-Km.}$$

El factor de corrección de temperatura es 1.9.

Y el factor de corrección por longitud es $\frac{1000}{2300} = 0.434$

$$R_{AIS} = (1.9) (0.434) (1120.04)$$

$$R_{AIS} = 923 \text{ M}\Omega$$

Procedimiento.

- 1.- El cable deberá desconectarse de todo equipo eléctrico.
- 2.- Conectar a tierra todo el equipo que no se va a probar.
- 3.- La prueba se realiza con un megger, el cual debe estar en una base firme y nivelada.
- 4.- Calibrar el aparato comprobando las posiciones de cero e infinito, conectando las terminales en corto circuito y circuito abierto respectivamente haciendo los ajustes necesarios con las perillas para tal fin.
- 5.- Una vez calibrado el aparato, conectar la terminal positiva al conductor de cobre y la terminal negativa a la pantalla metálica debidamente aterrizada.
- 6.- Energizar durante 3 minutos y tomar valores de la resistencia de aislamiento para un voltaje de prueba de 2.5-KV en intervalos de un minuto hasta completar 10 lecturas.
- 7.- Al terminar la prueba debemos de conectar a tierra el conductor para evitar que quede cargado.

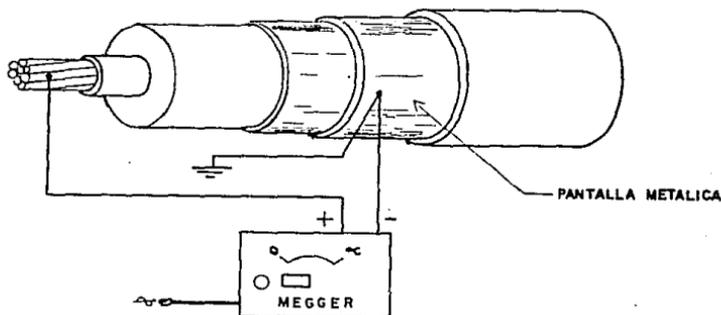


FIG. 6.1

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

A LOS CABLES C1, C2, C3 DEL TUBO T1 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM
 DESDE IP-A HASTA S.P. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MΩ	FASE B LECTURA EN MΩ	FASE C LECTURA EN MΩ
1	2.5	12,375	2,178	16,500
2	2.5	8,250	2,178	14,025
3	2.5	10,725	2,145	24,750
4	2.5	49,500	2,310	16,500
5	2.5	49,500	2,277	49,500
6	2.5	14,025	2,227.5	24,750
7	2.5	16,500	2,310	16,500
8	2.5	16,500	2,392.5	24,750
9	2.5	18,150	2,475	33,000
10	2.5	49,500	2,475	24,750

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

A LOS CABLES G4, G5, G6 DEL TUBO T2 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-A HASTA S.E. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MA	FASE B LECTURA EN MA	FASE C LECTURA EN MA
1	2.5	12,875	12,375	7,425
2	2.5	10,725	12,375	7,425
3	2.5	10,725	12,375	7,260
4	2.5	8,250	12,375	7,260
5	2.5	8,250	14,355	6,930
6	2.5	9,900	14,355	6,930
7	2.5	10,725	14,850	6,930
8	2.5	10,725	14,355	7,425
9	2.5	8,250	14,355	7,425
10	2.5	9,075	14,355	7,425

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

A LOS CABLES C7, C8, C9 DEL TUBO T3 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-A HASTA S.E. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MA	FASE B LECTURA EN MA	FASE C LECTURA EN MA
1	2.5	985	1,050	49,500
2	2.5	985	1,051	49,500
3	2.5	986	1,050	49,500
4	2.5	1,010	1,150	49,500
5	2.5	1,052	1,160	49,500
6	2.5	1,056	1,160	49,500
7	2.5	1,052	1,155	49,500
8	2.5	1,050	1,160	49,500
9	2.5	1,060	1,160	49,500
10	2.5	1,060	1,160	49,500

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

A LOS CABLES G10, G11, G12 DEL TUBO T4 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MM.
 DESDE IP-B HASTA S.E. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MΩ	FASE B LECTURA EN MΩ	FASE C LECTURA EN MΩ
1	2.5	3,465	3,630	2,492.5
2	2.5	3,630	3,795	2,492.5
3	2.5	3,960	3,960	2,640.
4	2.5	4,207.5	3,795	2,640.
5	2.5	4,290	3,630	2,640.
6	2.5	4,455	3,735	2,640.
7	2.5	4,620	3,460	2,722.5
8	2.5	4,620	4,125	2,805.
9	2.5	4,620	3,460	2,805.
10	2.5	4,785	4,125	2,970.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

A LOS CABLES Q13, Q14, Q15 DEL TUBO 25 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-B HASTA S.B. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MA	FASE B LECTURA EN MA	FASE C LECTURA EN MA
1	2.5	3,456.	4,620	2,805.
2	2.5	3,547.5	4,785	2,805.
3	2.5	3,630.	4,785	2,937.
4	2.5	3,630.	4,950	2,970.
5	2.5	3,382.5	4,950	3,052.5
6	2.5	3,456.	4,620	3,217.5
7	2.5	3,456.	4,620	3,300.
8	2.5	3,456.	4,290	3,300.
9	2.5	3,456.	4,290	3,465.
10	2.5	3,300.	4,455	3,630.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

A LOS CABLES C16, C17, C18 DEL TUBO T6 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600MCM.
 DESDE IP-B HASTA S.E. TMO.

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MA	FASE B LECTURA EN MA	FASE C LECTURA EN MA
1	2.5	∞	∞	∞
2	2.5	∞	∞	∞
3	2.5	∞	∞	∞
4	2.5	∞	∞	∞
5	2.5	∞	∞	∞
6	2.5	∞	∞	∞
7	2.5	∞	∞	∞
8	2.5	∞	∞	∞
9	2.5	∞	∞	∞
10	2.5	∞	∞	∞

6.2.2 Prueba de potencial aplicado.

El objeto de ésta prueba no es simular las condiciones de operación normal del cable, sino asegurar que el aislamiento está en condiciones de operar satisfactoriamente ante los esfuerzos eléctricos típicos de los sistemas de potencia.

El voltaje de prueba nunca deberá ser mayor al 75% del voltaje de las pruebas de fabricación.

La tabla siguiente indica los valores del voltaje de prueba para diferentes niveles de aislamiento.

Tensión KV 100% de - nivel de- aislamiento	AWG ó - calibre MCM.	Tensión de prueba (KV) cables nuevos
2 - 5	8 - 1000	25
5 - 8	6 - 1000	35
8 - 15	2 - 1000	55
15 - 25	1 - 1000	80
25 - 28	1 - 1000	85
28 - 35	1/0 - 1000	100

TABLA 6.2

Cuando se aplica un voltaje a través de un dieléctrico se presentan tres tipos de corriente que son:

- La corriente de carga (I_c) debida a la carga de la capacitancia.
- La corriente de conducción (I_r) presente en todo dieléctrico.
- La corriente de absorción (I_a) cuyo valor es despreciable comparado con I_r .

En el equipo de prueba se cuenta con un microamperímetro - que nos indica el valor de la suma de las tres corrientes. La variación de las tres corrientes se ilustra en la figura

Procedimiento.

- 1.- La prueba se realiza con un equipo de prueba de alta - tensión para corriente directa.
- 2.- Acordonar el área suficiente para realizar la prueba, - como medida de seguridad para el personal.
- 3.- Desconectar el cable de todos los equipos eléctricos.
- 4.- Conectar la terminal positiva de la unidad de alta ten sión al conductor de cobre, la terminal negativa a la - pantalla metálica y a su vez ésta, al sistema de tie-- rra.
- 5.- Conectar a tierra los cables próximos, que no van a - probarse.
- 6.- El voltaje de prueba será de 55 K.V.
- 7.- El voltaje se irá aumentando cada minuto en 10 KV has - ta llegar al voltaje de prueba, registrandose simulta - neamente la corriente en las primeras cinco lecturas.
- 8.- A partir de la lectura número seis, se deberá de apli - car el voltaje de prueba, hasta un tiempo de 15 minu-- tos tomando valores de la corriente de fuga en cada mi nuto.
- 9.- Al terminar las lecturas se deberá conectar a tierra - el conductor.
- 10.- Realizar la gráfica correspondiente tensión - corrien - te de fuga y compararla con la gráfica patrón mostrada

en la figura 6.1a para decidir el estado del aislamiento en el cable.

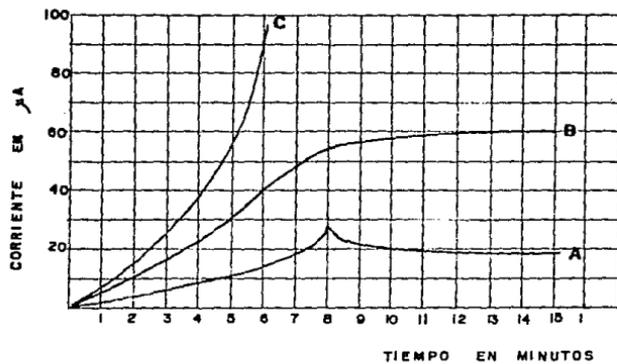


FIG. 6.1a

De la gráfica tenemos que:

- A Es una curva típica de un aislamiento en buen estado.
- B Esta curva indica buen aislamiento del cable donde sus terminales están húmedas ó contaminadas en éste caso se sugiere discontinuar la prueba, descargar el cable, limpiar perfectamente bien las terminales y repetir la prueba.
- C En ésta gráfica nos indica la posibilidad de una burbuja ó impureza en el aislamiento del cable ó las conexiones. En la mayoría de los casos el voltaje de prueba inicia la ionización y por tanto un aislamiento en mal estado.

Conexiones.

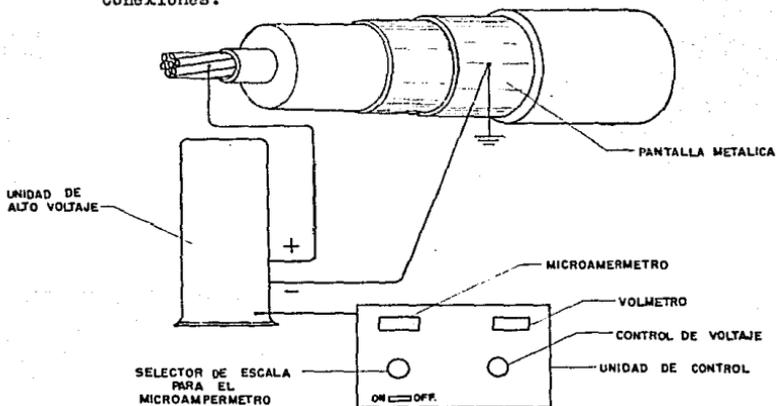


FIG. 6.2

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

A LOS CABLES C1, C2, C3 DEL TUBO T1 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-A HASTA S.E. TMO.

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN JA	FASE B LECTURA EN JA	FASE C LECTURA EN JA
1	10	0.0	0.0	0.0
2	20	0.6	0.5	0.5
3	30	1.4	1.8	1.2
4	40	2.2	3.4	2.7
5	55	5.0	15	15
6	55	5.0	15	15
7	55	5.0	15	14
8	55	5.0	15	14
9	55	5.0	14	14
10	55	4.0	14	14
11	55	4.0	14	14
12	55	3.0	13	13
13	55	3.0	13	13
14	55	3.0	13	12
15	55	3.0	13	12

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

A LOS CABLES C4, C5, C6 DEL TUBO T2 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL KLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-A HASTA S.E. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN µA	FASE B LECTURA EN µA	FASE C LECTURA EN µA
1	10	0.1	0.1	0.1
2	20	0.2	0.3	0.4
3	30	0.6	1.0	0.6
4	40	1.9	1.8	1.4
5	55	3.9	3.5	2.3
6	55	3.5	3.5	2.3
7	55	3.2	3.3	2.3
8	55	3.0	3.3	2.3
9	55	3.0	3.3	2.3
10	55	2.8	3.0	2.3
11	55	2.8	3.0	2.2
12	55	2.8	3.0	2.2
13	55	2.8	3.0	2.4
14	55	2.8	3.0	2.2
15	55	2.7	3.0	2.2

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

A LOS CABLES C7, C8, C9 DEL TUBO T3 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-A HASTA S.B. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN VA	FASE B LECTURA EN VA	FASE C LECTURA EN VA
1	10	0.4	0.7	0.5
2	20	3	3	4.5
3	30	9.5	11	12
4	40	15	22	25
5	55	21	30	24
6	55	21	27	24
7	55	21	27	11
8	55	21	27	11
9	55	19	27	11
10	55	19	22	27
11	55	19	22	21
12	55	17	22	21
13	55	17	22	21
14	55	17	22	21
15	55	17	22	21

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

A LOS CABLES C10, C11, C12 DEL TUBO T4 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-B HASTA S.E. TMO

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN µA	FASE B LECTURA EN µA	FASE C LECTURA EN µA
1	10	5	8.5	0.5
2	20	5	20	2
3	30	10	27	10
4	40	19	36.5	27
5	55	25	35	20
6	55	27	38	20
7	55	27	35	20
8	55	26	35	20
9	55	26	35	20
10	55	25	35	20
11	55	25	35	20
12	55	25	35	20
13	55	25	35	20
14	55	25	35	20
15	55	25	35	20

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

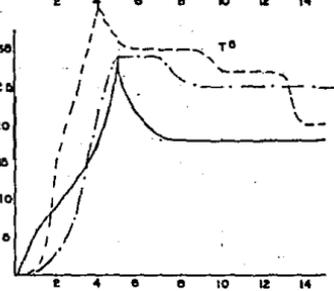
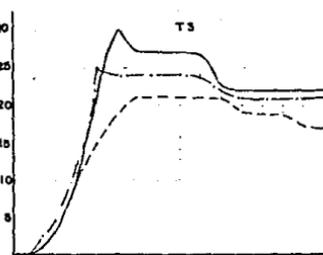
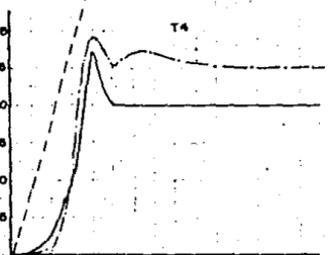
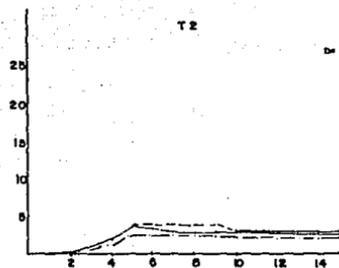
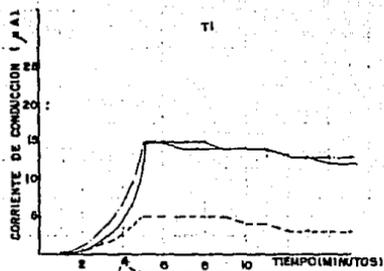
A LOS CABLES C13, C14, C15 DEL TUBO T5 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IR-B HASTA S.E. TMO.

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN µA	FASE B LECTURA EN µA	FASE C LECTURA EN µA
1	10	2.5	14.5	5.6
2	20	10	20	7.8
3	30	20	31	20
4	40	34	35	25
5	55	27	24	25
6	55	27	24	23
7	55	27	24	23
8	55	27	19	23
9	55	27	19	23
10	55	27	19	23
11	55	27	19	23
12	55	24	19	23
13	55	24	19	23
14	55	24	15	23
15	55	24	15	23

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

A LOS CABLES C16, C17, C18 DEL TUBO T6 MARCA CONDUMEX
 TIPO VULCANEL XLP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV CALIBRE 600 MCM.
 DESDE IP-B. HASTA S.E. TMO.

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN µA	FASE B LECTURA EN µA	FASE C LECTURA EN µA
1	10	0.5	0.2	6
2	20	15	3	9
3	30	24	9	13
4	40	36	22	18
5	55	30	29	29
6	55	30	29	27
7	55	30	29	18
8	55	30	26	18
9	55	30	25	18
10	55	27	25	16
11	55	27	25	18
12	55	27	25	18
13	55	27	25	18
14	55	20	25	18
15	55	20	25	18



6.2.3 Analisis de resultados.

De los resultados obtenidos verificamos que en todos los casos, la resistencia de aislamiento medida en los cables es mayor al valor obtenidos analiticamente por lo que consideramos aceptable en cuanto a la prueba de potencial aplicados los valores máximos de corriente de fuga se encuentran dentro de los valores de tolerancia y en ningún caso son mayor a 100 mA., por lo tanto los cables se encuentran en condiciones de operar satisfactoriamente.

6.3 Pruebas eléctricas a interruptores.

Las pruebas eléctricas que se realizarán al interruptor de potencia antes de energizar la línea son: prueba de resistencia de aislamiento, prueba de potencial aplicado y prueba de resistencia de los contactos. Tienen también la finalidad de conocer el estado del interruptor y sus aislamientos.

6.3.1 Prueba de resistencia de aislamiento.

Es importante realizar ésta prueba al interruptor con el objeto de detectar posibles daños al interruptor durante su instalación, polvo ó humedad en sus diferentes partes.

Procedimiento.

El procedimiento es similar al que se describe en la sección 6.2.1.

- 1.- Limpiar con solvente las terminales para retirar suciedad.
- 2.- Colocar el Megger en una base nivelada.
- 3.- Colocar la terminal positiva en el contacto inferior del interruptor (Po) y la negativa a la estructura metálica

lica del mismo.

- 4.- El interruptor deberá estar en posición de cerrado.
- 5.- Energizar el equipo durante tres minutos.
- 6.- Tomar valores de la resistencia de aislamiento en intervalos de un minuto (10 lecturas) y registrarlos en la tabla de resultados.
- 7.- Anotar la temperatura de la prueba.
- 8.- Conectar a tierra las partes conductoras al terminar la prueba en cada fase.

Conexiones.

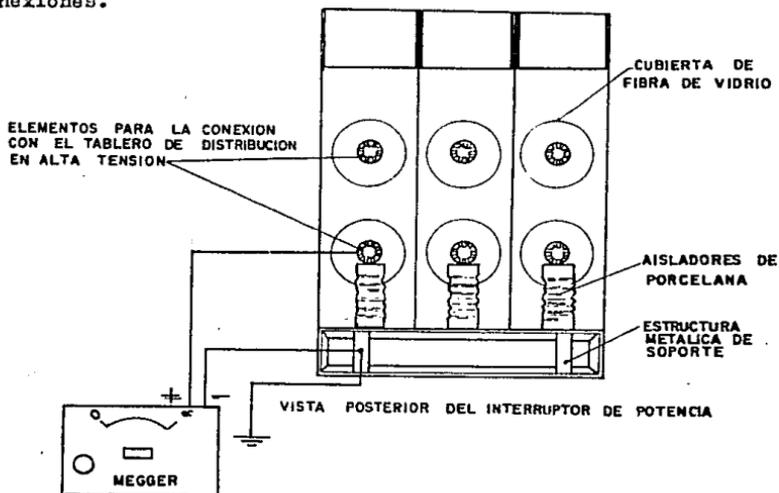


FIG. 6.3

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

AL INTERRUPTOR IP-A MARCA IBM
 TIPO 150 DHEP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MΩ	FASE B LECTURA EN MΩ	FASE C LECTURA EN MΩ
1	2.5	29,700	28,050	33,000
2	2.5	31,350	26,400	45,375
3	2.5	33,000	28,050	49,500
4	2.5	33,000	28,050	49,500
5	2.5	33,000	29,700	49,500
6	2.5	33,000	32,175	49,500
7	2.5	33,000	32,175	45,375
8	2.5	33,000	32,175	45,375
9	2.5	33,000	32,175	45,375
10	2.5	33,000	33,000	45,375

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

AL INTERRUPTOR IP-B MARCA TEM
 TIPO 150 DHP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN MΩ	FASE B LECTURA EN MΩ	FASE C LECTURA EN MΩ
1	2.5	29,500	27,800	32,000
2	2.5	30,800	25,400	44,475
3	2.5	32,000	27,400	48,300
4	2.5	32,000	27,400	48,300
5	2.5	32,000	28,500	48,300
6	2.5	32,000	31,375	48,300
7	2.5	32,000	31,375	44,875
8	2.5	32,000	31,375	44,875
9	2.5	32,000	31,375	44,875
10	2.5	32,000	32,000	44,875

6.3.2 Prueba de potencial aplicado.

Es una prueba que se complementa con la prueba de resistencia de aislamiento para verificar el estado de los aislamientos del interruptor con el objeto de ponerlos en operación satisfactoriamente, el voltaje de prueba es el que tenemos en la tabla. a.2

Procedimiento.

- 1.- Desconectar el interruptor de todas sus conexiones que de él se derivan.
- 2.- Limpiar con solvente sus partes conductoras y cubiertas aislantes.
- 3.- Colocar la terminal positiva de la unidad de alta tensión en el punto P_0 y la terminal negativa a tierra en la estructura metálica del interruptor. (Fig. 6.4)
- 4.- Energizar el equipo y elevar el voltaje en cinco pasos de un minuto c/u para llegar al voltaje de prueba registrando la corriente de fuga.
- 5.- Con el voltaje de prueba tomar lecturas de la corriente de fuga i cada minuto para completar la tabla de resultados, conectar la fase a tierra al terminar la prueba, repetir las mediciones para cada una de las fases.

Conexiones.

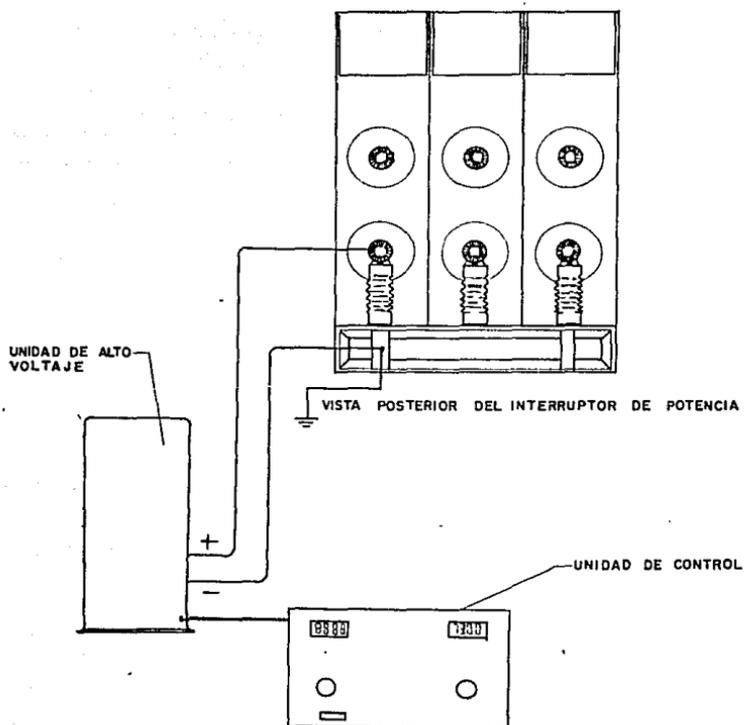


FIG. 6.4

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

AL INTERRUPTOR IP-A MARCA IEM
 TIPO 150 DHP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN A	FASE B LECTURA EN A	FASE C LECTURA EN A
1	10	0.05	0.10	0.09
2	20	0.35	0.30	0.30
3	30	0.79	0.85	0.75
4	40	1.70	1.50	1.50
5	55	2.40	2.55	2.55
6	55	2.15	2.55	2.55
7	55	2.02	2.45	2.58
8	55	1.95	2.25	2.55
9	55	1.90	2.15	2.55
10	55	1.99	2.10	2.53
11	55	2.00	2.05	2.35
12	55	2.20	2.05	2.23
13	55	2.20	2.00	2.20
14	55	2.20	2.10	2.27
15	55	2.00	2.05	2.15

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

AL INTERRUPTOR IP-B MARCA TEM
 TIPO 150 DHEP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV

TIEMPO EN MINUTOS	VOLTAJE DE PRUEBA (KV)	FASE A LECTURA EN μ A	FASE B LECTURA EN μ A	FASE C LECTURA EN μ A
1	10	0.05	0.05	0.08
2	20	0.28	0.20	0.31
3	30	0.85	0.50	0.85
4	40	1.64	1.02	1.75
5	55	2.81	1.80	3.00
6	55	2.55	1.72	2.80
7	55	2.52	1.65	2.40
8	55	2.52	1.65	2.25
9	55	2.35	1.68	2.25
10	55	2.27	1.80	2.15
11	55	2.18	1.78	2.05
12	55	2.18	1.75	2.05
13	55	2.18	2.00	2.08
14	55	2.12	1.80	2.03
15	55	2.04	1.75	2.03

6.3.3 Prueba de la resistencia de los contactos.

La prueba de la resistencia óhmica de los contactos nos indica si han sufrido desgastes excesivos, desigualdad en las superficies, holguedad ó ajustes anormales.

La tabla 6.3 muestra los valores típicos de resistencia de - contactos.

Tensión Nominal KV	Resistencia de Contactos		
	Interruptores Nuevos.	Interruptores En servicio.	Valor Máximo
6.9	75 - 150	150 - 250	250
13.8	75 - 150	150 - 250	250
34.5	100 - 200	200 - 300	300
69.0	200 - 300	300 - 500	500
115.0	200 - 300	350 - 600	650
230.0	100 - 175	200 - 300	300
440.0	100 - 175	200 - 300	300

TABLA 6.3

Al alcanzarse éstos valores es recomendable sustituir los - contactos.

La prueba se realiza con un óhmetro de baja resistencia - (DUCTER), teniendo el interruptor aislado de toda conexión la prueba se debe de comenzar con la escala en el selector de mayor capacidad.

Procedimiento.

- 1.- El interruptor debe de estar en la posición "cerrado".
- 2.- Colocar el Ducter sobre una base firme y alejado de campos electromagnéticos externos.
- 3.- Probar y calibrar el aparato antes de la medición.

- 4.- Una de las terminales se conecta firmemente, uno de los extremos exteriores del contacto, la otra terminal en el otro extremo del contacto para cerrar el circuito como se indica en la figura .
- 5.- Registrar la resistencia de los contactos para cada una de las fases del interruptor.

Conexiones.

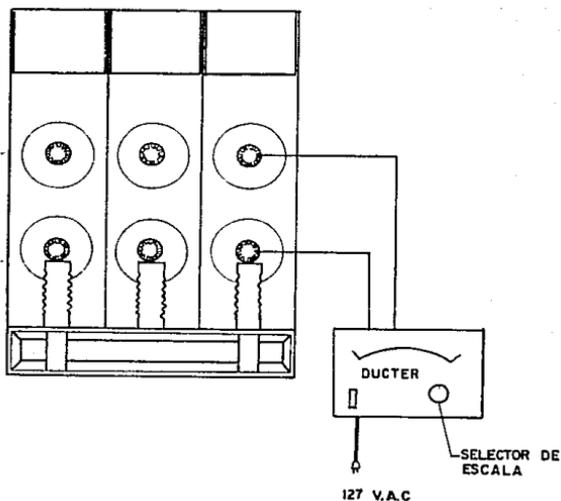


FIG. 6.5

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

AL INTERRUPTOR (ES) IP-A, IP-B MARCA IEM
TIPO 150 DHEP CON AISLAMIENTO PARA 15 KV

INTERRUPTOR	FASE A (MILI-OHMS)	FASE B (MILI-OHMS)	FASE C (MILI-OHMS)
IP-A	0.036	0.037	0.037
IP-B	0.042	0.041	0.042

Conclusiones.

Con el desarrollo de éste trabajo de investigación concluimos que tanto el Complejo Morelos como la Terminal Marítima área oriente, darán mayor impulso industrial al país, - aumentando la capacidad de producción y movilización de hidrocarburos, como el etileno principalmente. Con éstas instalaciones industriales se ha desarrollado la infraestructura necesaria para su construcción y operación, tales como telecomunicaciones, carreteras, ferrocarriles, transportes pluviales, energía eléctrica y urbanización, así mismo se ha generado un buen número de empleos que definitivamente han beneficiado regionalmente a su población, mejorando los niveles de vida.

Por otra parte tenemos que el punto de partida de todo proyecto de Ingeniería eléctrica es satisfacer una necesidad ó una demanda de energía, ésto se realiza de la siguiente manera: se proponen soluciones posibles basadas en un estudio de factibilidad técnico - económico seleccionando la alternativa que presente mayores ventajas o beneficios.

Posteriormente entramos en la etapa de diseño en donde para nuestro proyecto implica el desarrollo de la Ingeniería básica y la Ingeniería de detalle. En éste punto apoyados en las normas de diseño, cálculos e información contenida en los catálogos de los fabricantes, se establecen las especificaciones de materiales y equipos incluidos en el diseño, seleccionando éstos de acuerdo a los requerimientos reales en cuanto a características y capacidad, estable-

ciendo también los sistemas auxiliares de protección y control.

Terminado el trabajo de gabinete se realizan las revisiones necesarias con el objeto de verificar la información del proyecto en lo que respecta a especificaciones, para proceder a la ejecución de la obra.

La supervisión durante la construcción del proyecto debe llevarse a cabo rigurosamente con el fin de comprobar que se están cumpliendo las especificaciones de diseño.

Algunas veces en el trabajo de campo es necesario realizar pequeños cambios ó variaciones al proyecto original en detalles que no fueron contemplados durante la etapa de diseño, ó que por la disponibilidad de materiales es indispensable efectuarlos y en donde el Ingeniero de campo ó Residente de obra eléctrica, es la persona indicada para proponer soluciones, ya que está más familiarizada con el problema.

Una vez que se ha terminado la construcción del proyecto es importante verificar que sus características eléctricas son las de diseño, y necesarias para operar satisfactoriamente, en nuestro caso utilizamos una serie de pruebas eléctricas comprobando con esto las condiciones de los aislamientos del equipo y cables seleccionados, los cuales si finalmente cumplen con las especificaciones para la etapa de operación, tendremos la seguridad de que nuestra línea de transmisión podrá energizarse y operar normalmente sin peligro de fallas, cumpliendo con esto nuestro objetivo.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Electrical Transmission and Distribution
Reference Book
Westinghouse Electric Corporation
4o. Edición 1964.
- 2.- Manual Eléctrico
C O N E L E C
3o. Edición 1976.
- 3.- Redes Eléctricas 1o. Parte.
Ing. Jacinto Viqueira Landa
Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A.
2o. Edición 1970.
- 4.- Standard Handbook for Electrical Engineers
Aroher E. Knowlton.
Mc. Graw - Hill
9o. Edición 1957
- 5.- Electric Utility Engineering Reference Book
Westinghouse Electric Corporation
Vólumen 3 1959

- 6.- Industrial Power System Handbook
Donald Beeman
Mc. Graw - Hill 1o. Edición 1955.

- 7.- Manual Técnico de Cables de Energía.
Ing. Victor Sierra Madrigal
Ing. Alfonso Sansores Escalante
CONDUMEX
Mc. Graw - Hill 2o. Edición 1984.

- 8.- Catálogo Condumex de Cables Vulcanal X. L. F.
Publicación HT - 905.11.14

- 9.- Red Book
Recommended Practice For Electric Power
Distribution For Industrial Plants.
IEEE. 5o. Edición 1976.

- 10.- Norma PEMEX 2.346.01
Proyecto y Diseño de Instalaciones en Plantas
Industriales.

- 11.- Norma PEMEX 2.346.13
Clasificación de Areas Peligrosas.

- 12.- Norma PEMEX 3.346.01
Canalizaciones Eléctricas Subterráneas.

- 6.- Industrial Power System Handbook
Donald Beeman
Mc. Graw - Hill 1o. Edición 1955.
- 7.- Manual Técnico de Cables de Energía.
Ing. Victor Sierra Madrigal
Ing. Alfonso Sansores Escalante
CONDUMEX
Mc. Graw - Hill 2o. Edición 1984.
- 8.- Catálogo Condumex de Cables Vulcanel X. L. P.
Publicación HT - 905.11.14
- 9.- Red Book
Recommended Practice For Electric Power
Distribution For Industrial Plants.
IEEE. 5o. Edición 1976.
- 10.- Norma PEMEX 2.346.01
Proyecto y Diseño de Instalaciones en Plantas
Industriales.
- 11.- Norma PEMEX 2.346.13
Clasificación de Areas Peligrosas.
- 12.- Norma PEMEX 3.346.01
Canalizaciones Eléctricas Subterráneas.

- 13.- Norma PEMEX 2.346.07
Ductos Eléctricos Subterráneos
- 14.- Norma PEMEX 2.346.04
Sistemas de Conexión a Tierra.
- 15.- Norma NOM-J-142-1977
Conductores con Aislamiento de Polietileno
de Cadena Cruzada.
- 16.- Norma NOM-J-293-1977
Métodos de Prueba de Alta Tensión a AC - DC
Para Conductores Eléctricos hasta 69 K.V.
- 17.- Norma NOM-J-294-1977
Determinación de la Resistencia de Aislamiento.
- 18.- Catálogo I.E.M. de Interruptores en Aire
Tipo 150 D.H.E.P.
Publicación BD - 410 - 000
- 19.- Catálogo Condumex Terminales Premoldeadas
Publicación AHS - 1002 1986
- 20.- Catálogo Condumex Empalmes C. P. M.
Publicación AHG - 2009 1987

- 21.- Catálogo Mexalit
Tubo Asbesto - Cemento.
- 22.- Tesis: Análisis Técnico del Equipo de Protección
de 13.8 K.V. de Energía Eléctrica a la terminal
Marítima Petrolera.
Miguel Flores Madrigal.
- 23.- Estudio de Corto Circuito.
Ing. Angel Gudino Tejeda.
Instituto Mexicano de Petroleo. 1982
- 24.- Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión.
Gaudencio Zoppetti, Jo.
Ed. Gustavo Gili S. A. 2o. Edición 1962

APENDICE



**CABLES VULCANEL™ XLP Y EP CON PLOMO 5 Y 15 KV.
PARA REFINERIAS DE PETROLEO
Y PLANTAS PETROQUIMICAS.**



DESCRIPCION:

Conductor compacto de cobre suave. Pantalla semiconductor extruída sobre el conductor. Aislamiento de polietileno vulcanizado (XLP) o etileno propileno (EPR). Pantalla semiconductor extruída sobre el aislamiento. Pantalla electrostática constituida por un forro de plomo. Cubierta de PVC rojo.

APLICACION:

Circuitos en general de distribución de potencia, en conduit, charolas, ductos subterráneos o directamente enterrados, en refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.

TENSION MAXIMA DE OPERACION:

5 000 y 15 000 Volts.

TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

Normal	90°C
Sobrecarga	130°C
Corto Circuito	250°C

PROPIEDADES:

- 1) Alta resistencia de aislamiento. Alta rigidez dieléctrica. Baja permitividad y bajo factor de potencia.
- 2) Mayor resistencia a humos y gases químicos.
- 3) La cubierta de PVC es resistente a la abrasión, ozono, humedad y plásticos y protege el plomo de corrosión electrolytica.
- 4) Alta resistencia a hidrocarburos.
- 5) Empalmes y terminales sencillos.

ESPECIFICACIONES:

ICEA S-60 724.

DATOS PARA PEDIDO:

Cable de tipo VULCANEL EP o XLP con plomo, 5 ó 15 KV nivel de aislamiento, calibre y longitud en metros.

REGISTRO:

120

APROBACION

CORRECCION DE LA CORRIENTE ADMISIBLE (AMTACIDAD) POR CAMBIO DE LOS PARAMETROS DE INSTALACION

Cuando las condiciones de operación T_a' y T_c' (temperatura ambiente y temperatura del conductor nuevas) sean distintas a las especificadas en la tabla anterior (T_a y T_c), será necesario corregir los valores de la tabla, multiplicándolos por un factor de corrección que se obtiene de la siguiente fórmula y es aplicable para cables enterrados o en ductos.

$$\text{Factor de Corrección} = \sqrt{\frac{T_c - T_a'}{T_c - T_a}}$$

RECOMENDACIONES DE INSTALACION

- Tensión máxima de jalado: No mayor de 7 kg/mm^2 de sección de cobre (en ningún caso se debe sobrepasar una tensión de 3,000 kg.).
- Para instalación en ductos, se deben seleccionar los diámetros interiores de éstos no menores de 1,6 veces el diámetro exterior del cable, o en caso de conductores triplexiados, 3,5 el diámetro exterior de uno de los conductores de fase.
- Los dobleces o radios de curvatura mínimos permisibles en los cables VULCANEL XLP y EP, para refinerías de petróleo no serán menores de 15 veces el diámetro exterior del cable.
- La solicitud de supervisión técnica durante la instalación del cable deberá ser cursada a través de nuestro Departamento de Ventas.
- Las pantallas metálicas de los cables deberán conectarse a tierra en todos los puntos en que sea práctico hacerlo (empalmes y terminales principalmente).

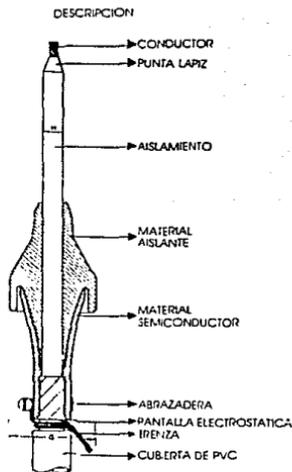
Sustituye a la publicación HT-905.11.14

TABLA 1

Clase de aislamiento (kV)	Módulo tensor (kV)	Pruebas de tensión alterada 10 - 60 Hz		Pruebas de tensión alterada asíncrona		Pruebas de impulso (kV)	Prueba de C.D. (kV promedio)
		1 minuto en aire (kV rms)	8 horas en agua (kV rms)	Tensión de prueba (kV rms)	Sensibilidad (kV rms) (IEC)		
5	3,2	25	15	4,5	20	25	50
8,7	5,5	35	25	7,5	28	35	65
15	9,5	50	35	12,0	30	110	75
25	18,8	65	55	21,5	38	152	105
36,5	22,8	90	75	32,0	38	205	140

TABLA 2

DIAMETRO SOBRE AISLAMIENTO (H) (mm.)	TAMANO TIP	DIMENSION G
11.5-14.0	R/R	40.0
13.8-16.5	2	57.5
16.3-20.0	1	53.5
19.8-23.5	2	62.8
23.3-27.0	3	66.3
26.8-31.0	4	69.8
30.8-35.0	5	76.0
34.8-40.0	6	80.5
38.0-46.0	7	103.0
42.0-50.0	8	103.0



TABLEROS BLINDADOS "METAL CLAD" CON CORTACIRCUITOS EN AIRE

ALTA TENSION, 2,300 A 15,000 VOLTS
SERVICIO INTERIOR O INTEMPERIE

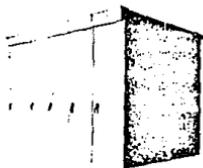


POR QUE EL TABLERO BLINDADO OFRECE MAYOR SEGURIDAD

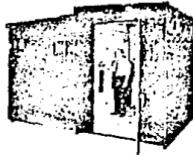
- Barreras metálicas aislan entre sí los compartimientos del cortacircuito de las barras, del control y de la línea.
- Las barreras de acero del cortacircuito previenen el acceso a las partes vivas del mismo. Al estar sujetas con tornillos a la parte posterior del mismo, es imposible quitarlas si el cortacircuito no ha sido extraído.
- Bloqueos de seguridad impiden la inserción del cortacircuito en su celda si éste se encuentra cerrado, manteniéndolo en condición de disparo libre.
- El dispositivo de enganche del cortacircuito queda libre al final de su carrera, asegurando un positivo y preciso contacto.
- Pantalla protectora ajustable que cubre automáticamente los contactos primarios de la celda cuando se extrae el cortacircuito.
- El cortacircuito puede extraerse a la posición de prueba y pasarse a la posición de conectado con la puerta del gabinete cerrada, a través de una ventana de acceso.
- El cortacircuito queda conectado a un bus de tierra en las posiciones de operación y prueba.



Tablero para servicio interior



Tablero para intemperie, sin pasillo

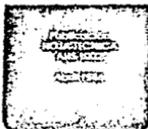


Tablero para intemperie, con pasillo

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS CORTACIRCUITOS TIPO DHEP

TIPO	Cap. Interruptiva trifásica MVA	Voltaje de operación en Kilovolts			Amperes nominales				Amperes de Interrupción		Peso Kgs.
		nominal	max.	mínimo con servando cap interruptiva nominal	Continuos a 60 ciclos	Nominales	4 segundos	a voltaje nominal	max.		
30 DHEP 75	75	4.16	4.76	3.5	1200	2000	12500	10470	12569	258	
30 DHEP 750	250	4.16	4.76	3.85	1200	60000*	37500	35000	37500	335	
30 DHEP 750	250	4.16	4.76	3.85	2500	80000*	37500	35000	37500	343	
150 DHEP 300	500	13.8	15.0	11.5	1200	40000	25000	21000	25000	636	
150 DHEP 300	500	13.8	15.0	11.5	2000	40000	25000	21000	25000	640	
150 DHEP 500	500	13.8	15.0	11.5	1200	60000	25000	21000	25000	636	
150 DHEP 500	500	13.8	15.0	11.5	2000	60000	25000	21000	25000	640	
150 DHEP 750	750	13.8	15.0	11.5	1200	60000	37500	31000	37500	720	
150 DHEP 750	750	13.8	15.0	11.5	2000	60000	37500	31000	37500	728	

* Se puede suministrar con 80,000 amperes



TERMINAL INTERIOR PREMOLDEADA "TIP"

DESCRIPCION:

Terminal premoldeada a base de material elastomérico EPDM para servicio interior.

APLICACION:

Esta terminal (TIP), ha sido diseñada para ser instalada en servicio interior en cables de energía de media tensión con pantalla electrostática y aislamiento extruido (EP, XLP, PVC) en sistemas de operación de 5 a 34.5 KV.

La única diferencia entre terminales de diferentes tensiones será la distancia de fuga que se deje al probar el cable.

Se instala en cables monofásicos y trifásicos.

CARACTERISTICAS:

Terminal fabricada a base de etileno propileno (EPDM). Se usa en tensiones de 5 a 34.5 KV., y calibre de 6 AWG a 1000 MCM.

Los accesorios que vienen con el cono de alivio (TIP), son: instructivo, lubricante, franta, abrazadera, solvente, lija y manija de ceta para preparación del cable.

ESPECIFICACIONES O NORMAS:

NOM-J-199-1975 (IEEE 48-1975) para clase 3 (ver tabla 1 de características eléctricas)

SELECCION:

Para seleccionar el cono apropiado, es necesario medir el diámetro sobre aislamiento del cable que se va a instalar, retirando previamente cubiertas y pantalla, o solicitar este dato al fabricante del cable.

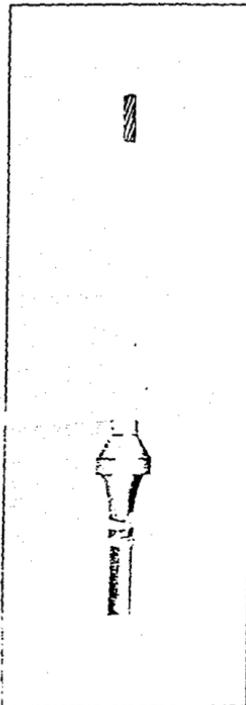
Con este dato, seleccione en la tabla 2 el cono cuyo rango de aplicación incluya ese diámetro determinado.

GARANTIA:

Los productos CONDUMEX manufacturados en INDUSTRIAS APASEO, S.A. DE C.V., están garantizados para funcionar satisfactoriamente si son instalados y utilizados correctamente, obedeciéndose a los instructivos. La responsabilidad de Industrias Apaseo está limitada a reponer el producto cuando se demuestra que está defectuoso.

REGISTRO:

Aprobación NOM





EMPALME CPM PARA CABLE CON PANTALLA METALICA

DESCRIPCION

La restitución de los elementos del cable al realizar una unión recta o derivación monofásica o trifásica, se efectúa con un juego de cintas y materiales compatibles con cada uno de los elementos correspondientes del cable. Cada estuche de empalme recto CPM derivación, contiene todos los materiales necesarios para la reconstrucción de cada elemento del cable, instructivo de instalación, un juego de accesorios auxiliares y de limpieza, tales como: Trenzo para conectar a tierra, alambre de cobre estañado, soldadura, lija, venite y manta para realizar la limpieza de los cables por unir. Cuando se requiere proveer de una protección mecánica adicional a la unión ya terminada, se puede emplear un encintado se de fibra de vidrio impregnada con resina epox (catálogo "Estuche de reparación Epoxidur").

Los estuches de empalmes CPM llevan incluido el conector mecánico para la unión del conductor A1 o C1.

APLICACION

Se usan en sistemas con clase de aislamiento de 5 a 138 kV, en cables de energía con pantalla metálica y aislamiento extruido (EP, XLP, PVC, etc.).

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

La tensión nominal de operación de una unión terminada, correspondiente a la clase de aislamiento del cable en donde fue instalada (Ver columna 1 de la tabla 1). La temperatura de operación de una unión completa, es la misma que la máxima temperatura a la que es capaz de trabajar el cable. Las características eléctricas con las cuales cumplen, se indican en la tabla 1.

ESPECIFICACIONES

NOM-J-158-1978
IEEE-404-1977

DATOS PARA PEDIDO

(ver párrafo de selección).

REGISTRO:

Aprobación NOM



**TABLA 1
CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE EMPALMES**

CLASE DE AISLAMIENTO	TENSION MAXIMA DE DISEÑO A TIERRA	TENSION ALTERNIA DE PRUEBA 60 HZ.		PRUEBA DE EXTINCION DE DESCARGAS PARCIALES.*	PRUEBA DE IMPULSO **	TENSION DE PRUEBA EN CORRIENTE DIRECTA 15 MIN. VALORES MAXIMOS.
		1 Minuto	5 Horas			
(KV) (1)	(KV) (2)	(KV) (3)	(KV) (4)	Tension de extincion (KV) (5)	(KV) (6)	(KV) (7)
5	3.2	25	15	4.5	75	50
9.7	5.5	35	25	7.5	75	65
15	9.5	50	35	13.0	110	75
25	16	65	55	21.5	150	105
34.5	22	90	75	30	200	140
46	29.5	120	100	40	250	170
69	44	175	120	50	350	245
115	73	260	175	100	550	320
138	88	310	200	Valor no establecida	650	355

* Sensibilidad mín.
** Onda de 1.2 x 50

†el deflector 5x2
†g.

SELECCION:

El nombre de este empalme está formado por el prefijo "CPM" que quiere decir "Cable con Pantalla Metálica", seguido del número 1 ó 3 que indica el número de fases del cable por

unir; a continuación aparece el calibre del mismo en A.W.G., M.C.M. ó mm²; posteriormente Cu ó Al., según se trate de conductor de cobre ó de aluminio, finalmente la clase de aislamiento del cable, ó sea:

CPM [1 ó 3] x [Cal. AWG, MCM ó mm²], [Cu ó Al], [5 a 138] Kv.

Es importante indicar el nivel de aislamiento: 100% ó 133%. Cuando se desee realizar una derivación en "T", se agregará esta inicial al prefijo y en la sec-

ción del calibre se indicará primero el calibre del cable troncal y posterior a ésta separado por un guión el calibre del cable en derivación; con lo cual la descripción será:

TCPM—[1 ó 3] x [Cal. AWG, MCM ó mm²] — [1 ó 3 x Cal. AWG, MCM, ó mm²] — [Cu ó Al], [5 a 138] Kv.

Ejemplo.

Para hacer un empalme recto en un cable de energía con aislamiento extruido, calibre 250 MCM, Conductor de cobre, 34.5 Kv., monofásico, el estuche a seleccionar será:

CPM 1 x 250 MCM, Cu, 34.5 Kv.

GARANZIA:

Los productos de CONDUMEX están garantizados para funcionar satisfactoriamente si se instalan y utilizan correctamente, apeguándose estrictamente a los instructivos. La responsabilidad de IASA, está limitada a reparar el producto o cuando se demuestre que está defectuoso.