

18

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

**“INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN
SERVICIO DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA
EN SF₆ DE LA CENTRAL DIESEL AMPLIACIÓN
PUERTO SAN CARLOS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

CHRISTIAN JOEL GARCÍA ESPINOZA

282074

ASESOR:

ING. JAVIER PÉREZ VARGAS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

A mis padres:

Sr. José García Félix

y

Sra. Encarnación Espinoza López

Con respeto, cariño y eterno agradecimiento.

A mis hermanos:

Santiago

Jorge

Olivier

Amelia Catalina.

A mi escuela:

"Enep Aragón"

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN:
DEBERÁ(N) DESARROLLAR:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
TESIS INDIVIDUAL
CHRISTIAN JOEL GARCÍA ESPINOZA**

**" INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE
LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ DE LA CENTRAL
DIESEL AMPLIACIÓN PUERTO SAN CARLOS".**

Considerando que esta Subestación Encapsulada en SF₆ es indispensable para la interconexión de la Central generadora también en construcción, por lo cual es necesario diseñar y construir la Subestación de tal manera que sea confiable y así garantizar la continuidad del servicio de energía eléctrica a los centros de consumo.

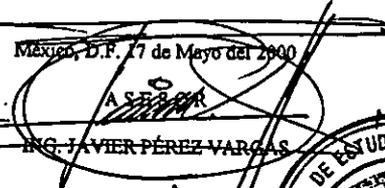
Por lo tanto, el objetivo fundamental es garantizar el servicio de energía eléctrica, además de contar con una instalación confiable, económica y segura.

- **CONTENIDO:**
- **INTRODUCCIÓN**

- **CAPITULADO:**
- I **DESCRIPCIÓN DE LA C.D. PUERTO SAN CARLOS (Gral. AGUSTÍN OLACHEA AVILÉS).**
- II **USOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL GAS SF₆ HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆) EN EL SECTOR ELÉCTRICO.**
- III **DESARROLLO DEL PROYECTO DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆.**
- IV **PRUEBAS QUE SE DEBEN REALIZAR A LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆.**
- V **ANÁLISIS DE COSTOS.**

- **CONCLUSIONES**
- **BIBLIOGRAFÍA**
- **GLOSARIO**
- **ANEXO**

México, D.F. 17 de Mayo del 2000


ING. JAVIER PÉREZ VARGAS

JEFE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA


ING. IVÁN MUÑOZ SOLÍS



TÍTULO: INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ DE LA CENTRAL DIESEL AMPLIACIÓN PUERTO SAN CARLOS.

ÍNDICE

Introducción.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DE LA C.D. PUERTO SAN CARLOS (Gral. AGUSTÍN OLACHEA AVILÉS).

I.1. Descripción general.....	3
I.2. Interconexión al sistema eléctrico.....	4
I.3. Localización y arreglo general de la Central.....	6
I.4. Descripción de los equipos principales.....	7
I.4.1. Generadores eléctricos.....	7
I.4.2. Transformadores Principales.....	8
I.4.3. Transformador de Auxiliares.....	9
I.4.4. Transformador de Arranque.....	10
I.4.5. Transformador de Excitación.....	10
I.5. Servicios Auxiliares.....	11
I.5.1. Tableros de baja tensión.....	13
I.5.2. Subestaciones Unitarias.....	13
I.5.3. Centros de Control de Motores.....	14

CAPÍTULO II USOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL GAS SF₆ HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆) EN EL SECTOR ELÉCTRICO

II.1. Propiedades del Hexafluoruro de Azufre.....	17
II.1.1. Características químicas del Hexafluoruro de Azufre.....	18
II.1.1.1. Características del Azufre y del Fluor.....	18
II.1.1.2. Estructura Atómica del gas SF ₆	20
II.1.2. Características Físicas.....	22
II.1.2.1. Masa molecular.....	22
II.1.2.2. Ecuación de estado.....	23
II.1.2.3. Solubilidad.....	23
II.1.2.4. Densidad.....	24
II.1.3. Propiedades Eléctricas.....	27
II.1.3.1. Rigidez dieléctrica.....	27
II.1.3.2. Efecto corona.....	33

II.1.3.3.	Disposición del SF ₆ debido a los arcos eléctricos.....	33
II.2.	Ventajas y desventajas.....	34
II.2.1.	Generalidades.....	34
II.2.2.	Ventajas.....	35
II.2.3.	Desventajas.....	36
II.3.	Usos y aplicaciones en el sector eléctrico.....	37

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO DE SUBESTACIÓN ENCAPSULADA SF₆

III.1.	Antecedentes.....	39
III.2.	Función del sistema eléctrico.....	41
III.2.1.	Sistema de comunicación.....	41
III.2.2.	Control e Instrumentación.....	42
III.2.3.	Características Generales de la S.E. en SF ₆	45
III.2.4.	Diagrama Unifilar de la Central Ampliación.....	46
III.2.5.	Diagrama Unifilar de la Subestación Existente incluyendo la Ampliación... ..	47
III.3.	Criterios y alternativas para la selección de la nueva subestación eléctrica encapsulada en SF ₆ (Hexafluoruro de Azufre) para la ampliación.....	48
III.3.1.	Conceptos Generales.....	48
III.3.2.	Arreglos típicos de Subestaciones de Alta Tensión.....	49
III.3.3.	Alternativas para definir el arreglo más adecuado para la Ampliación de la C.D. Puerto San Carlos considerando desde una Unidad de 39,3 MW a tres Unidades que en su totalidad generen 39,3 MW.....	52
III.3.3.1.	Alternativa 1.....	52
III.3.3.2.	Alternativa 2.....	54
III.3.3.3.	Alternativa 3.....	55
III.3.4.	Alternativas para definir el tipo de conexión entre la nueva Subestación Encapsulada en SF ₆ , con la Subestación encapsulada en SF ₆ existente.....	57
III.3.4.1	Antecedentes.....	57
III.3.4.2	Consideraciones.....	57
III.3.4.2.1	Alternativa 1.....	57
III.3.4.2.2	Alternativa 2.....	59
III.3.4.2.3	Alternativa 3.....	61
III.3.4.2.4	Alternativa 4.....	63
III.3.5	Comparación técnica entre el bus aéreo y el bus ducto.....	66
III.3.5.3	Conclusión.....	71
III.4.	Protecciones de la Subestación Encapsulada en SF ₆ en Ampliación.....	71
III.4.1.	Protección diferencial de barras (87B).....	72
III.4.2.	Protección por falla de interruptor (50 FI).....	72
III.5.	De sus componentes.....	73
III.5.1.	Equipos en Gas SF ₆	73
III.5.1.1	Cuchillas Desconectoras.....	73

III.5.1.2	Cuchillas de Puesta a Tierra.....	73
III.5.1.3	Interruptor.....	73
III.5.1.4	Transformador de Corriente.....	74
III.5.1.5	Boquillas SF ₆ - Aire.....	74
III.5.1.6	Gabinete de Control Local.....	74
III.5.2.	Características particulares del equipo.....	74
III.6.	Trabajos que se contemplaron para la construcción de ésta Subestación en ampliación.....	75
III.7.	Procedimientos, especificaciones y normas aplicables.....	76
III.7.1	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).....	76
III.7.2	Instituto Nacional de Estándares Americanos. (ANSI).....	76
III.7.3.	Otros Códigos Americanos.....	77
III.7.4.	Leyes, Reglamentos, Criterios, Normas y Códigos Mexicanos.....	79
III.7.5.	Otras Normas Aplicables.....	80
III.7.6	Manuales de la Comisión.....	82

CAPÍTULO IV PRUEBAS QUE SE DEBEN REALIZAR A LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆.

IV.1.	Pruebas prototipo.....	84
IV.2.	Inspección y Pruebas de Aceptación en Fábrica.....	85
IV.3.	Pruebas de Rutina.....	86
IV.4.	Pruebas de fábrica del interruptor de potencia.	86
IV.5.	Pruebas de fábrica de las Cuchillas con Carga.....	88
IV.6.	Pruebas de fábrica de las Cuchillas de Puesta a Tierra.	89
IV.7.	Pruebas de fábrica del Transformador de Corriente.	90
IV.8.	Pruebas de fábrica del Transformador de Tensión.....	91
IV.9.	Pruebas de fábrica de la caja de conexión de cable - juego de barras... ..	92

CAPÍTULO V ANÁLISIS DE COSTOS.

V.1.	Desarrollo.....	94
V.1.1.	Instrucciones para los licitantes.....	94
V.1.2.	Objeto.....	94
V.1.3.	Eventos Principales.....	96
V.2.	Costos.....	97
V.2.1.	Cálculo para determinar el precio de la Subestación Encapsulada en SF ₆ (la bahía adicional para la Ampliación de la Central Diesel Puerto San Carlos).....	97
V.2.1.1	Alcance de Suministro.....	97
V.3.	Condiciones comerciales que se dieron.....	101

V.3.1. Central Llave en Mano.....	101
V.4. Precio de la puesta en Servicio de la Subestación en Ampliación	101
V.5. Comparación entre las alternativas de bus aéreo con cable y bus ducto encapsulado en SF ₆	102
V.5.1. Comparación económica.....	102
V.5.2 Conclusión.....	104
Conclusiones.....	105
Bibliografía.....	106
Glosario.....	107
Anexo.....	110

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente demanda de energía eléctrica en el país se requiere contar con una capacidad mayor de Megawatts instalados.

Por tal motivo la Comisión Federal de Electricidad (CFE) se ve en la necesidad de instalar nuevas centrales generadoras ó ampliar las centrales existentes, es decir, añadir nuevas unidades que representen mayor capacidad de generación.

En la Central Diesel Puerto San Carlos (General Agustín Olachea Avilés), la energía eléctrica que genera se distribuye a través de la red del sistema Baja California Sur por medio de dos líneas de transmisión de 115 kV cada una.

Para ello la Central está dotada de una moderna Subestación de alta tensión, diseñada al tipo encapsulada, que tiene la característica de ocupar un reducido espacio y facilitar su operación y mantenimiento, así como también proporcionar una alta seguridad.

La Subestación cuenta con gas SF₆ (Hexafluoruro de Azufre) y dispone de todo el equipo necesario para su interconexión con los transformadores de la propia central, transferencias y enlaces con las líneas de transmisión, los cuales están precisamente encapsulados en SF₆. La Subestación además fue diseñada para futuras ampliaciones de la central.

El presente trabajo está enfocado en la ampliación de la Subestación encapsulada en SF₆ de la Central Diesel Ampliación Puerto San Carlos la cual recibe la energía de una tercera unidad adicional de 39,3 MW. Para esto fué necesario analizar la ingeniería, construcción y puesta en servicio de la misma.

El objetivo final es contar con una Subestación confiable, segura y económica y así garantizar el servicio de energía eléctrica en los centros de consumo.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL DIESEL PUERTO SAN CARLOS (Gral. AGUSTÍN OLACHEA AVILES)

I.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

La Central Diesel (C.D.) Puerto San Carlos cuenta con dos unidades de 32,5 MW cada una, para una potencia total instalada de 65 MW, que funcionan con motores Diesel que por su tamaño y capacidad podrían contarse entre los más grandes de Latinoamérica.

La Central genera electricidad utilizando dos gigantescos motores de combustión interna, que trabajan con una mezcla de combustóleo y diesel, lo que la hace una planta única en el país por sus características técnicas.

La Central cuenta con dos tanques de 10 000 m³ (30 metros de diámetro por 15,4 metros de altura) para almacenar diesel, que son abastecidos por el combustoleoducto que une el descargadero con la Central, y transporta el combustóleo y el diesel a través de una estación de bombeo.

La Central cuenta con tres pozos de agua de mar, localizados dentro del predio, cada uno de los cuales proporciona un caudal suficiente para el funcionamiento de las dos unidades generadoras, pues tiene una capacidad de flujo del 100 %.

El generador eléctrico, se conecta directamente al transformador principal a través del bus de fase segregada. El transformador de potencia principal, está localizado adyacente al bloque de fuerza, conectado a la Subestación de 115 kV, a través del interruptor de máquina y enlazada al Sistema Eléctrico Regional de Baja California Sur.

1.2. INTERCONEXIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO

La Central Diesel Puerto San Carlos, genera anualmente 360 058 MWh, para dar un impulso decisivo al desarrollo de Baja California Sur.

La energía que se genera se distribuye a los consumidores a través del Sistema Eléctrico Baja California Sur de la Comisión Federal de Electricidad, por medio de la red de líneas de transmisión que enlazan, por una parte, las centrales generadoras y, por otra, los centros de consumo.

Por ello la central Diesel se enlaza al Sistema a través de su propia subestación de alta tensión, mediante dos líneas de transmisión de 115 kV cada una, que entregan la energía a la Subestación Constitución, en Ciudad Constitución, Baja California Sur.

Este volumen de generación de la Central Diesel representa el 58% aproximado del consumo de Baja California Sur, lo que revela su importancia estratégica.

Con la finalidad de disponer de un marco de referencia a continuación se indica la generación actualmente instalada en el sistema eléctrico de Baja California Sur, así como la demanda máxima estimada para el presente año:

CENTRAL	UNIDAD	CAPACIDAD DE PLACA(MW)	CAPACIDAD REAL (MW)
PUNTA PRIETA DOS	U1TG	37,5	37,5
	U2TG	37,5	37,5
	U3TG	37,5	37,5
PUERTO SAN CARLOS	U1DI	32,5	31
	U2DI	32,5	31
PUNTA PRIETA UNO	U1TG	22	17
	U2TG	30	29
VILLA CONSTITUCIÓN	U1TG	30	30
	U4DI	3,2	2,5
	U5DI	3,2	2,5
	U6DI	3,2	2,5
	U7DI	3,2	2,5
LOS CABOS	U1 TJET	20	16
	U TG	30	30

U = Unidad

UTG = Unidad Turbo Gas

UTJET = Unidad Turbo Jet

UDI = Unidad Diesel

TABLA: TI.01.- GENERACIÓN INSTALADA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA CALIFORNIA SUR

Como se puede apreciar en la tabla: T1.01 la **generación base** la conforman las unidades de la Central Termoeléctrica C.T. Punta Prieta Dos y las de C.D. Puerto San Carlos (165 MW en total).

I.3. LOCALIZACIÓN Y ARREGLO GENERAL DE LA CÉNTRAL.

La Central Diesel Puerto San Carlos se encuentra ubicada como se muestra en la figura: I.01 en el Municipio de Comondú, Baja California Sur, a 260 Kilómetros de la Ciudad de La Paz, por la carretera Federal No. 1, La Paz - Ciudad Constitución - Tijuana; a 52 Kilómetros al Noroeste de Ciudad Constitución; y a 6 Kilómetros al Norte de Puerto San Carlos, por la carretera Federal No. 4, Ciudad Constitución - Puerto San Carlos, Baja California Sur, siendo sus coordenadas geográficas: $24^{\circ} 48' 48''$, latitud Norte y $112^{\circ} 05' 07''$, longitud Oeste (dato consignado).

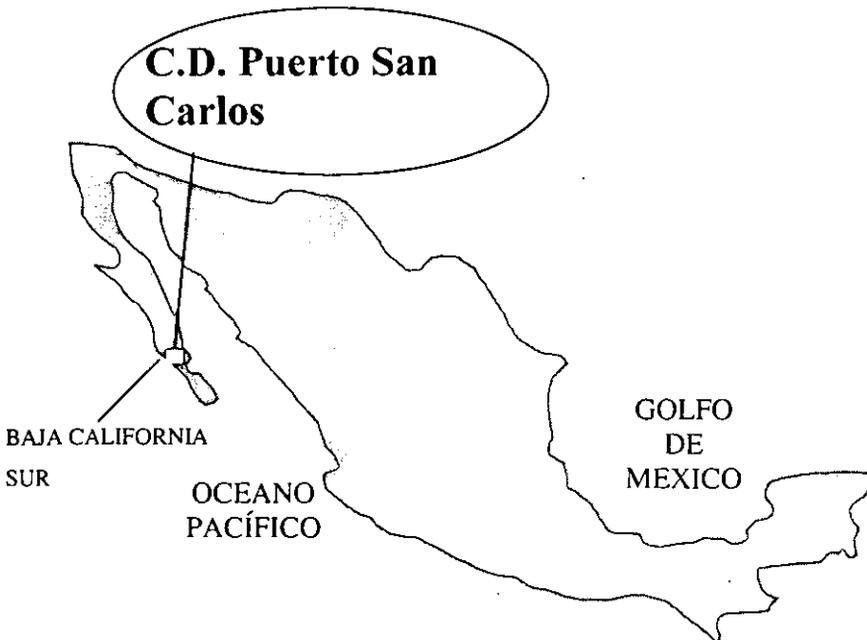


FIGURA: I.01.- LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL DIESEL PUERTO SAN CARLOS

I.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS PRINCIPALES

I.4.1. GENERADORES ELÉCTRICOS

Los generadores con los que cuenta la Central Diesel, están diseñados para operación continua a 60 Hz y a la máxima capacidad de los motores, el enfriamiento es por circulación de aire.

Tienen una capacidad de generación de 32,5 MW cada uno, y están conectados al Transformador Principal, el cual se encarga de elevar la tensión de 13,8 kV a 115 kV, antes de entregar la energía eléctrica a la Subestación de alta tensión.

SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES

Tipo:	Síncrono. 3Ø (tres fases), 60 Hz
Marca:	Asea Brown Boveri
Capacidad:	32,5 MW
Tensión de operación:	13,8 kV
Factor de potencia:	0,8 (atrasado)
Secuencia de fases:	Positiva (a,b,c)
Velocidad nominal:	102,9 rpm
Conexión:	Estrella
Voltaje de Excitación:	455 V
No. de polos:	72
Clase de aislamiento:	F

I.4.2 TRANSFORMADORES PRINCIPALES

El transformador es trifásico de 40/53.2 MVA con enfriamiento OA/FA, relación 115/13,8 kV, servicio intemperie sumergido en aceite, para una elevación de temperatura de 55 °C y una altitud de 1000 M.S.N.M. (Metros Sobre el Nivel del Mar)

SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES

Tipo:	Intemperie, sumergidos sus devanados en aceite, 3Ø, 60 Hz
Capacidad:	40 MVA-OA 53.2 MVA-FA
Tensiones:	115 kV devanado de alta 13.8 kV devanado de baja
Conexiones:	Alta tensión (H) estrella Baja tensión (X) delta
Desplazamiento angular:	30° adelante el voltaje de alta tensión respecto al voltaje de baja tensión.
Impedancia:	9.0 %
Tensión de auxiliares:	480 VCA

I.4.3 TRANSFORMADORES AUXILIARES

Esta Central tiene un transformador de auxiliares por cada unidad generadora (2 transformadores de auxiliares por la Central.), dichos transformadores tienen la función de alimentar los servicios auxiliares de la Central.

Se conectan directamente al bus de fase segregada por el lado del primario y al bus del tablero de 480 VCA por el secundario.

SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES

Tipo:	Intemperie, sumergidos sus devanados en aceite, 3Ø, 60 Hz
Capacidad:	2.5 MVA-OA 3.125 MVA-FA
Tensiones:	13.8 kV devanado de alta 0.48 kV devanado de baja
Conexiones:	Alta tensión (H) delta Baja tensión (X) estrella
Desplazamiento angular:	30° atrasado el voltaje de alta tensión respecto al voltaje de baja tensión.
Impedancia:	6.0 %
Tensión de auxiliares:	480 VCA

I.4.4 TRANSFORMADOR DE ARRANQUE

Esta Central tiene un transformador de arranque para las dos unidades generadoras.

SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES

Tipo:	Intemperie, sumergidos sus devanados en aceite, 3Ø, 60 Hz
Capacidad:	2.5 MVA -OA 3.125 MVA -FA
Tensiones:	13.8 kV devanado de alta 0.48 kV devanado de baja
Conexiones:	Alta tensión (H) estrella Baja tensión (X) delta
Desplazamiento angular:	30° atrasado el voltaje de alta tensión respecto al voltaje de baja tensión.
Impedancia:	6.0 %
Tensión de auxiliares:	480 VCA

I.4.5 TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN.

Esta Central tiene un transformador de excitación por cada unidad generadora.

SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES

Tipo:	Seco, 3Ø, 60 Hz
Capacidad:	386 kVA
Tensiones:	13.8 kV devanado de alta 0.455 kV devanado de baja
Conexiones:	Alta tensión (H) delta Baja tensión (X) estrella
Desplazamiento angular:	30° atrasado el voltaje de alta tensión respecto al voltaje de baja tensión.

1.5 SERVICIOS AUXILIARES

A fin de atender sus propias necesidades de operación, la Central Diesel está dotada de todos los equipos necesarios que le permiten funcionar, con máxima eficiencia en todo momento.

Entre estos equipos destacan los relacionados con la operación de las unidades generadoras, que para comenzar a funcionar toman energía del Sistema Baja California Sur por medio de la Subestación de alta tensión, utilizando el transformador de la Central, que está enlazado con el transformador de arranque y reduce la tensión a 480 VCA para dar energía a los servicios auxiliares del sistema de arranque de servicios propios (tableros de Subestaciones Unitarias de 480 VCA, motores de alta capacidad y Centros de Control de Motores).

Los dos motores de combustión interna que por su capacidad se consideran los más grandes del mundo, son de diseño Mitsubishi, de tipo RTA, y cuentan con equipos auxiliares dispuestos de tal manera que aumentan la eficiencia del conjunto para producir energía suficiente que haga funcionar el generador.

Con el fin de aumentar la eficiencia del ciclo termodinámico, la Central dispone de un recuperador de calor que con los gases de escape genera vapor para calentamiento de combustible, operación de la evaporadora de agua de mar y soplado de hollín.

Este recuperador de calor tiene una capacidad de generación de vapor de hasta 3 000 kg/h, a una presión de 8 kg/cm² y una temperatura de 174.5 °C.

De lo anterior se deduce que una Central Diesel no solo consiste del equipo principal como motor-generador, sino también de muchos auxiliares.

Para alimentar los servicios auxiliares es necesario contar con diferentes niveles de tensión. En la C.D. Puerto San Carlos se cuenta con los siguientes niveles de tensión para motores y equipos de maniobra:

- Tableros de baja tensión 480 VCA
- Subestaciones unitarias 480 VCA
- Centros de control de motores 480 VCA

También se cuenta con niveles de baja tensión para los circuitos de control, protección y para los sistemas vitales como los sistemas de cómputo 120 VCA, 125 VCD (Voltaje de Corriente Directa), 24 VCD.

I.5.1 TABLEROS DE BAJA TENSIÓN

Estos tableros cuentan con varios grupos de cubículos que contienen interruptores removibles con extinción del arco en aire, circuito de cierre y de disparo del interruptor.

Tienen la capacidad suficiente para dar la máxima carga esperada de auxiliares conectados con la unidad a plena carga.

Los interruptores y tableros son seleccionados para soportar como mínimo el 110% del valor de corriente de corto circuito esperado y de la capacidad de corriente de carga.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE ESTOS TABLEROS SON LAS SIGUIENTES:

Tensión de operación:	480 VCA, 3Ø
Capacidad de corriente:	4,000 A en barras principales
Tensión de los circuitos de control:	125 VCD
Mecanismos de interrupción de interruptores:	De energía almacenada con resortes
Corriente de Corto	
Circuito Simétrica:	60 kA

I.5.2 SUBESTACIONES UNITARIAS 480 VCA (SU's)

La Subestación unitaria cuenta con tres tableros interconectados por unidad (Unidad 1, Unidad 2, común) es trifásica y cuenta con tres hilos.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS SON LAS SIGUIENTES:

Tensión de operación:	480 V, 3Ø, 60 Hz
Capacidad de corriente:	4,000 A en barras
Tensión de los circuitos de control:	125 VCD
Mecanismos de interrupción de interruptores:	De energía almacenada con resortes
Corriente de Corto	
Circuito Simétrica:	60 kA

I.5.3. CENTROS DE CONTROL DE MOTORES

Los Centros de control de motores cuentan con tres grupos de tres tableros interconectados (Unidad 1/Unidad 2/común), es trifásico y de tres hilos.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS SON LAS SIGUIENTES:

Tensión de operación:	480 VCA, 3Ø, 60 Hz
Capacidad de corriente:	600 A en Barras Derivadas 800 A en Barras Principales
Tensión de los circuitos de control:	125 VCD
Capacidad de corto	
Circuito:	25 kA

CAPÍTULO II

USOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆) EN EL SECTOR ELÉCTRICO

Para lograr que la potencia eléctrica sea manejada correctamente, es indispensable que los aislantes y los dieléctricos utilizados, cumplan satisfactoriamente las exigencias impuestas por los niveles de tensión. Como consecuencia de lo anterior, surge la necesidad y el reto de buscar constantemente mejores aislantes y dieléctricos que los ya utilizados; resultado de esta búsqueda, ha sido la utilización del Nitrógeno y resinas epóxicas, que han sustituido al aire y a las porcelanas respectivamente.

En la actualidad, un nuevo dieléctrico con excelentes características físicas, químicas y eléctricas, ha ingresado al grupo de los mismos, dicho dieléctrico es el Hexafluoruro de Azufre cuya nomenclatura química es el SF₆.

El Hexafluoruro de Azufre (SF₆) es un compuesto químico creado por el hombre, ya que no se encuentra libre en la naturaleza. Fue obtenido por primera vez en el año 1904, aunque su aplicación en equipo eléctrico comenzó hasta 1950 en Estados Unidos y en 1953 en Europa.

II.1 PROPIEDADES DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE.

En el desarrollo de éste punto, se presenta el análisis de las propiedades del SF₆, fundamentándose éstas, en el estado de agregación de la materia bajo el cuál se encuentra. El SF₆ se presenta en estado sólido, líquido y gaseoso, dependiendo de los parámetros presión y temperatura a los cuales está sometido según se ilustra en la figura: II.01.

En cada uno de los estados de agregación el SF₆ presenta diferentes propiedades físicas, químicas y eléctricas; siendo las más favorables para su aplicación como dieléctrico y medio de extinción del arco eléctrico cuando se encuentra en estado gaseoso.

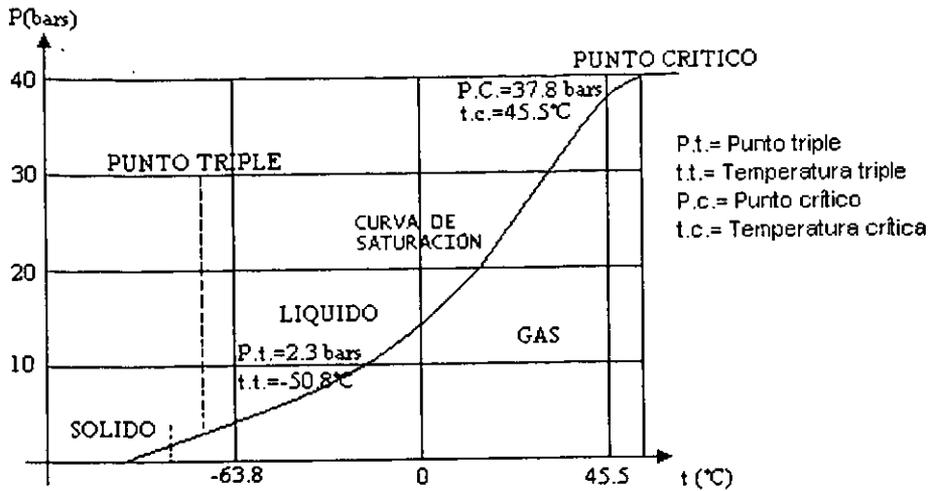


Figura: II.01.- ESTADOS DE AGREGACIÓN DE LA MATERIA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA (COMPORTAMIENTO DEL SF₆ COMO GAS)

II.1.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE.

En base a la química, se expone el método de obtención del compuesto artificial Hexafluoruro de Azufre, las propiedades que lo caracterizan, el porqué de tales propiedades y su comportamiento con algunos compuestos metálicos y no metálicos.

II.1.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL AZUFRE Y EL FLUOR.

El SF₆ es un compuesto que resulta de la reacción química entre los elementos Flúor (F) y Azufre (S).

Las principales características químicas de cada uno de estos elementos son las siguientes:

AZUFRE (S).- Elemento químico con número atómico 16, esto significa que sus átomos tienen 16 protones en su núcleo y 16 electrones en órbita alrededor de este último, en consecuencia ocupa el lugar 16 en el sistema periódico, en el grupo VI. Su masa atómica, la cual se refiere a la relación de la masa de un átomo de Azufre respecto a la doceava parte de la masa de isótopo del Carbono 12 (C_{12}), tiene un valor de 32.064; este valor es adimensional, dado que es una relación entre dos masas. La masa del isótopo del Carbono se toma convencionalmente como patrón desde 1961. Las valencias que presenta en los compuestos más estables que forma, son 2 (-) y 6 (+) (ver figura: II.02.).

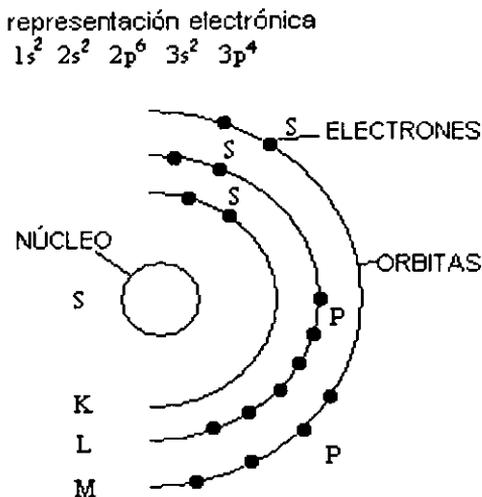


Figura: II.02.- ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DEL AZUFRE

FLÚOR (F).- elemento químico con número atómico 9, es decir, con nueve electrones girando alrededor de su núcleo y localizado en el grupo VII del sistema periódico, en la novena posición. Su masa atómica tiene un valor de 18.998 y las valencias que presenta con mayor frecuencia son 1(-) y 7(+). (ver figura: II.03).

El SF₆ en estado gaseoso se obtiene al arder en forma espontánea el Azufre con el Fluor.

La ecuación química que presenta la **obtención** del SF₆ es la siguiente:



Siendo ésta una ecuación exotérmica, esto es que al ocurrir tal reacción se presenta liberación de energía térmica.

representación electrónica
 $1s^2 2s^2 2p^5$

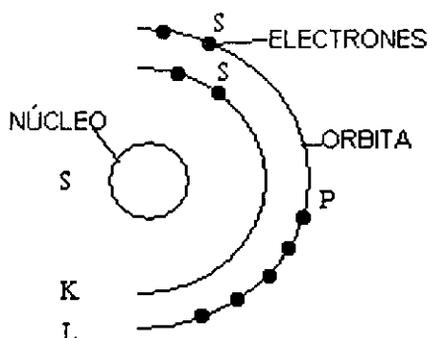


Figura: II.03.- ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DEL FLÚOR

II.1.1.2. ESTRUCTURA ATÓMICA DEL GAS SF₆.

La estructura atómica de un compuesto determina las cualidades físicas y químicas que manifiesta el mismo.

La molécula del compuesto SF_6 tiene una estructura atómica octaédrica, en la cual, el átomo de Azufre, está rodeado por seis átomos de Flúor, dispuestos en forma equidistante a él, a una distancia que varía entre 1.57 y 1.58 Amstrong ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$) tal como se observa en la figura: II.04.

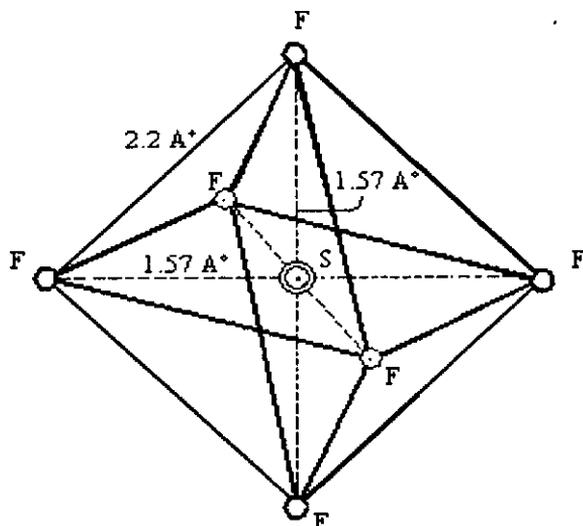


Figura: II.04.- REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LA MOLÉCULA DEL GAS SF_6

La disposición en el espacio de los átomos de Flúor con respecto a los átomos de Azufre, provoca que la molécula de SF_6 sea estable hasta un límite de temperatura muy elevado, del orden de 500°C (773 K).

La molécula del SF_6 presenta una simetría en su estructura octaédrica, que la hace semejante a la estructura molecular de los gases nobles.

Una propiedad más que se atribuye a la estructura octaédrica que presenta la molécula de este gas, es de que existe un equilibrio eléctrico en la carga de la molécula y le da a ésta, un carácter de compuesto no polar.

II.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Uno de los propósitos de la física , es el de interpretar cuantitativamente las propiedades observables de los sistemas (llámese sistema en este caso, a una sustancia de nuestro interés), en función de las características y el ordenamiento de los átomos y de las moléculas que los integran. Se busca así, una interpretación de acuerdo a la estructura del sistema considerado.

II.1.2.1 MASA MOLECULAR

La masa molecular de un compuesto, es la suma de las masas atómicas de cada uno de los elementos que lo constituyen, para el caso particular del Hexafluoruro de Azufre, el cálculo de la masa molecular es:

Masa molecular del SF_6 = masa atómica (S) + masa atómica (F)

masa atómica (S) = 32.064 uma

masa atómica (F) = 18.9984 uma

Puesto que se tienen seis átomos de Flúor, su masa atómica total será :

masa atómica (F_6) = 18.9984 X 6 = 113.9904 uma

masa atómica (SF_6) = 113.9904 + 32.064 = 146.0544 uma

uma = Unidades de masa Atómica.

Una vez conocidas las masa atómicas como la masa molecular total, se puede obtener el porcentaje de composición de los elementos constitutivos del SF_6 , mediante el siguiente cálculo :

$$\% \text{ de composición de los elementos} = \frac{\text{masa atómica total del elemento}}{\text{masa molecular}} \times 100$$

Para el Azufre se tiene:

$$\%S = \frac{32.064}{146.0544} \times 100$$

$$\%S = 21.953$$

Para el Flúor se tiene:

$$\%F = \frac{113.9904}{146.0544} \times 100$$

$$\%F = 78.046$$

II.1.2.2. ECUACIÓN DE ESTADO

Para el SF₆, se tiene que la ecuación de estado es de la forma siguiente :
(ecuación de estado de Beattie Bridgman).

$$PV^2 = RT (V + b) - a$$

Donde:

P = presión.

T = temperatura.

R = constante de los gases = 0.082 atm m³ / K - K mol.

V = volumen.

a = 15.78 (1 - 0.1062 V⁻¹)

b = 0.366 (1 - 0.1236 V⁻¹)

Las constantes "a" y "b" son funciones hiperbólicas del volumen. La ecuación de estado mencionada es válida mientras V sea mayor a 0.3 litros/mol y T sea menor a 100°C (373 K).

II.1.2.3 SOLUBILIDAD

La disolución de un gas en un líquido, es la interposición mecánica de las moléculas del gas, entre las del líquido, formando una fase líquida única. Un

líquido está saturado de un gas a temperatura y presión dadas, cuando el número de moléculas del gas que se disuelven en el líquido, es igual al número que se escapan de él. La solubilidad del SF₆ es:

- En agua, a 25 ° C (298 K) y una atmósfera de presión, es de 0.001 ml/ml de agua.
- El aceite de un transformador es de 0.297 ml/ml de aceite.

II.1.2.4 DENSIDAD

La densidad de un fluido, se define como la relación que existe de su masa entre el volumen y, depende de la presión y la temperatura a las que se encuentra sometido.

La ecuación que relaciona los parámetros masa y volumen es :

$$\delta = m/V \text{ (g/ml)}$$

Donde:

δ = densidad (g/ml)

m = masa (g)

V = volumen (ml)

La densidad del SF₆ en las fases sólida y líquida en función de la temperatura, varía de acuerdo como se muestra en la tabla: TII.01 y la figura: II.05.

La densidad de la fase gaseosa a temperatura constante de 21° C en función de la presión, se muestra en la tabla: TII.02 y en la figura: II.06.

ESTADO	TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (g/ml)
SOLIDO	-273	2.740
	-195	2.683
LÍQUIDO	-50.8	1.910
	-45	1.819
	-39	1.787
	-20	1.670
	0	1.540
	14.80	1.432
	20.94	1.371
	25.01	1.332
	29.65	1.270
	34.04	1.202
	39.22	1.111
	42.05	1.038
	43.98	0.968
45.55	0.734	

Tabla: TII.01.- VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL SF₆ EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

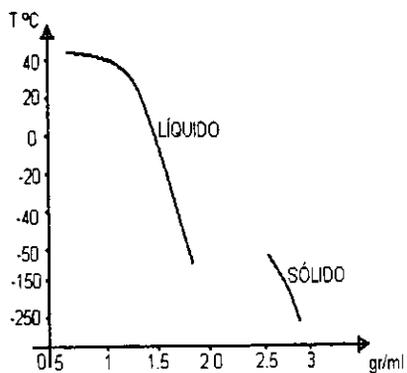


Figura: II.05.- DENSIDAD DE LOS ESTADOS LÍQUIDO Y SÓLIDO DEL SF6 EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

PRESIÓN (ATM. ABS)	DENSIDAD (g/ml)
1	6.139
2	12.4
3	18.8
5	32.3
10	69.6

Tabla: TII.02.- DENSIDAD DEL GAS SF₆ EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN

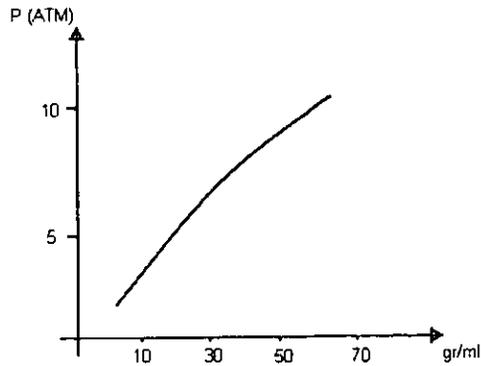


Figura: II.06.- DENSIDAD DEL GAS SF₆ EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN (ISOTERMA 21 °C)

II.1.3 PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Las propiedades eléctricas del SF₆ se deben a su estructura molecular no polar, que lo hace un gas electronegativo, característica por la cual, tiene una fuerte tendencia a captar electrones libres en un campo eléctrico, formando iones negativos SF₆⁻, permitiéndole ser un buen aislante y particularmente un excelente medio de extinción del arco eléctrico.

La formación de los iones en el medio, reduce sensible y rápidamente la conductividad eléctrica, así que los arcos de corriente alterna se extinguen fácilmente en un pasaje de la corriente por su valor cero; por eso la duración del arco es mucho más pequeña que en el aire a la misma presión. Además, la rigidez dieléctrica del SF₆, aumenta rápidamente cuando se incrementa su presión, de acuerdo a la ley de Paschen.

II.1.3.1. RIGIDEZ DIELECTRICA

Sin duda alguna, las características más importantes de un material dieléctrico es su rigidez dieléctrica. Según la A.S.A. (American Standard Association), la rigidez dieléctrica es el máximo gradiente de potencial que un

dieléctrico es capaz de soportar, sin que se produzca una descarga disruptiva. Esto es, cuando se expone un dieléctrico a un campo eléctrico, éste ocasiona que los electrones traten de moverse en dirección contraria de la intensidad del campo; pero ese desplazamiento conocido como polarización, se ve limitado por las fuerzas coercitivas de los átomos del dieléctrico. Ya que estas tienen un límite, cuando la fuerza ejercida por el campo eléctrico es mayor, se presenta la corriente eléctrica denominada "descarga disruptiva"

Estas características de conducción, que se aplican en general a todos los gases, se pueden trazar como una curva de tensión contra corriente, ver figura: II.07, en la cual, que del origen al punto I la corriente varía en forma proporcional a la tensión; es decir, se cumple la Ley de Ohm. Después de seguir aumentando la tensión, prácticamente no hay movimiento de electrones región en la que se satura el dieléctrico (hasta el punto II). Al incrementarse la tensión, a partir del punto II, la corriente aumenta alcanzando valores relativamente elevados, a los cuales existe una descarga dependiente en la que no se presentan efectos luminosos, por lo que también se le conoce como "descarga oscura". La corriente que se presenta en esta zona, se debe a que la velocidad de los electrones aumenta considerablemente, alcanzando un valor que le permita ionizar la trayectoria de descarga por impacto, y estas partículas así formadas, son capaces de ionizar a su vez a otras partículas, iniciándose una avalancha electrónica.

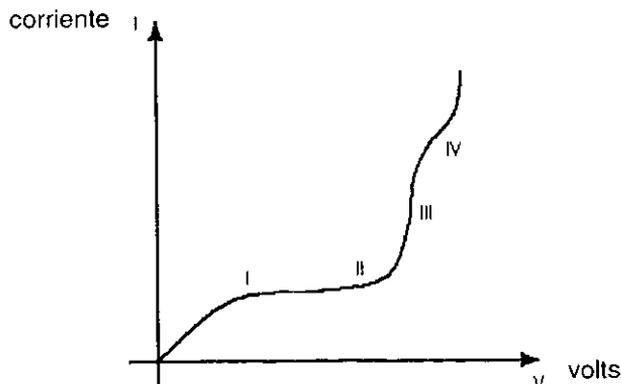


Figura: II.07.- CURVA CARACTERÍSTICA DE CONDUCCIÓN DE LOS GASES

Cuando la expresión llega hasta el punto III denominada "tensión crítica o de encendido", se inicia la descarga independiente. Entre III y IV, esta descarga tiene efectos luminosos y a partir del punto IV, la descarga es en forma de arco.

Es importante mencionar que antes de la formación del arco, se presenta el efecto corona (descarga de "efluvios" y descarga por chispas).

La presencia de descarga independiente, depende de la magnitud de las trayectorias libres y éstas al igual que la temperatura, son inversamente proporcionales a las presiones, por lo que la tensión disruptiva es función del producto de la presión y la distancia entre los electrodos, cumpliéndose la ley de Paschen, la cual menciona que la tensión disruptiva en un gas, depende de la presión y la distancia: matemáticamente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = P \cdot d$$

Donde:

E = gradiente de potencial

P = presión (**bars**)

d = distancia (**m**)

En la figura: II.08 se ilustra el comportamiento de la rigidez dieléctrica del SF₆, comparándola con la del N₂, en función con la ley de Paschen.

Aunque el SF₆, cumple satisfactoriamente la ley de Paschen, es importante mencionar que el valor de la tensión, a la cual sucede la descarga disruptiva, es también afectada por otros valores, tales como impurezas en el gas, humedad, mezcla con otros gases, la forma de los electrodos, partes del conductor que se están aislando y la modalidad de la tensión, ya sea alterna o directa, que puede ser de impulso, frecuencia industrial o continua.

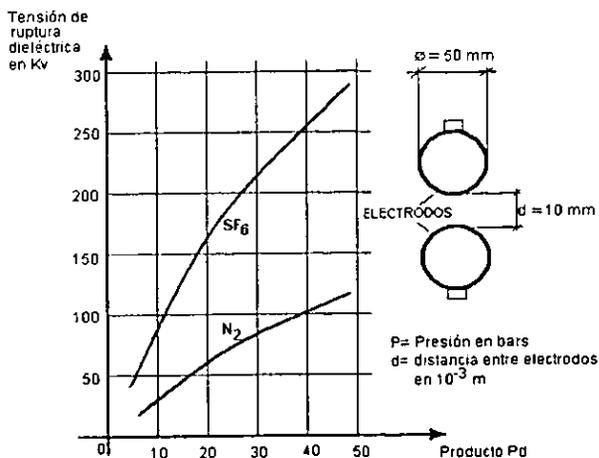


Figura: II.08.- TENSIÓN DE RUPTURA DIELECTRICA EN CORRIENTE ALTERNA (60 Hz) PARA GASES SF₆ Y N₂ EN FUNCIÓN DEL PRODUCTO PRESIÓN POR DISTANCIA UTILIZANDO ELECTRODOS ESFÉRICOS DE 50 mm DE DIÁMETRO Y UNA DISTANCIA DE SEPARACIÓN DE 10 MM.

En cuanto a la forma de los electrodos y en general a todo el dimensionamiento del equipo que se vaya a aislar en SF₆, influye debido el tipo de campo eléctrico que se genere, ya que puede ser uniforme o no uniforme. En un campo uniforme las descargas del SF₆, son para valores poco inferiores de descarga, por una débil corriente de fuga, mientras que en campos no uniformes, para valores de tensión que no tienen ninguna relación con aquellos de descargas, se presentan conducciones debidas al efecto corona.

No obstante que la rigidez dieléctrica del gas SF₆, varía conforme lo antes expuesto, se considera en un campo eléctrico uniforme tiene un valor de 2.4 veces mayor que la del aire, a una presión de 3 atmósferas (3.099 kg/cm²) y es igual a la del aceite aislante a una presión aproximada de 2 kg/cm² a 20 °C. El SF₆ puede interrumpir corrientes del orden de 100 veces a las que interrumpe el aire.

La constante dieléctrica del SF_6 es uno y debido a que la molécula no tiene momento dipolar, esta propiedad no cambia con la frecuencia.

En la figura: II.09, se aprecia como varía la rigidez dieléctrica del SF_6 , comparándola con la del Nitrógeno, para electrodos constituidos por una varilla de 1.58 mm de diámetro y un disco plano de 152 mm de diámetro y una distancia de separación de 25.4 mm, a frecuencia de 60 Hz.

En la figura: II.10 se muestra la relación de voltaje de ruptura dieléctrica (kV) y gradiente de potencial (V/mm) contra la presión a la que se debe llenar el equipo eléctrico, para gases SF_6 y N_2 .

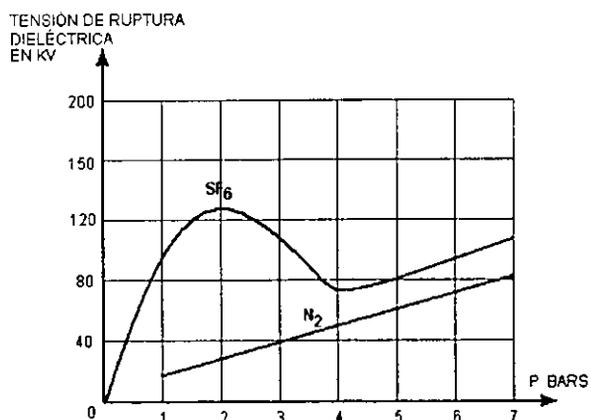


Figura: II.09.- TENSIÓN DE RUPTURA DIÉLECTRICA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN, PARA UN CAMPO ELÉCTRICO NO UNIFORME. GASES SF_6 Y N_2 PARA ELECTRODOS CONSTITUIDOS POR UN ASTA DE 1.58 mm Y UN DISCO PLANO DE 152 mm Ø A UNA DISTANCIA DE SEPARACIÓN DE 25.4 mm Y A UNA FRECUENCIA DE 60 Hz.

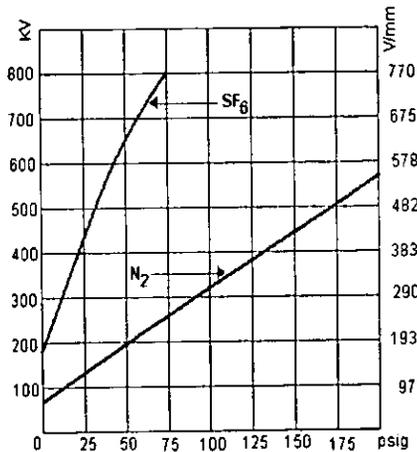


Figura: II.10.- RELACIÓN DE VOLTAJE DE RUPTURA DIELECTRICA (kV) Y GRADIENTE DE POTENCIAL (V/mm). CONTRA LA PRESIÓN A LA QUE VA A SER LLENADO EL EQUIPO ELÉCTRICO, PARA GASES SF₆ Y N₂.

II.1.3.2. EFECTO CORONA

Cuando el potencial de un conductor se eleva hasta los cuales, la intensidad de campo en su superficie es muy cercana a la rigidez dieléctrica del aire, los iones presentes en el aire se aceleran, y en su movimiento chocan con moléculas neutras produciéndose nuevos iones, este proceso es acumulativo hasta cierto grado y se manifiesta por medio de un efluvo luminoso, al que se da el nombre de efecto corona, y que es visible en la obscuridad.

La aparición del efecto corona depende de la configuración del campo eléctrico y de la polaridad de la tensión aplicada a los electrodos.

La aparición del efecto corona en el SF₆ en tensiones de 230 kV; precede mucho a la ruptura dieléctrica, y este fenómeno es más importante cuando la punta del electrodo es negativa, como se ilustra en la figura: II.11.

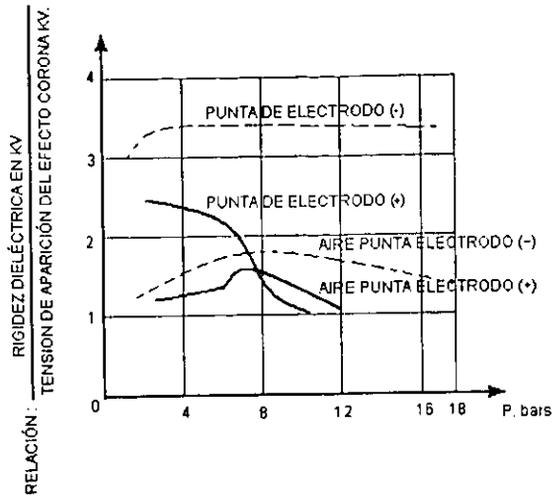


Figura: II.11.- RELACION DE RIGIDEZ DIELECTRICA (kV) Y LA TENSION DE APARICION DEL EFECTO CORONA EN EL GAS SF₆ Y EL AIRE CON DIFERENTES POLARIDADES DE ELECTRODOS

II.1.3.3. DISPOSICION DEL SF₆ DEBIDO A LOS ARCOS ELECTRICOS

Los residuos típicos de ruptura dieléctrica asociados con la interrupción del arco eléctrico, dentro de los equipos eléctricos en SF₆ son:

Acido Fluorhídrico	HF
Bióxido de Carbono	CO ₂
Anhídrido Sulfuroso	SO ₂
Tetrafluoruro de Carbono	CF ₄
Tetrafluoruro de Silicio	SiF ₄
Fluoruro de Tionilio	SOF ₄
Fluoruro de Sulfurilo	SO ₂ F ₂
Tetrafluoruro de Azufre	SF ₄
Agua	H ₂ O
Decafluoruro de Azufre	S ₂ F ₁₀
Fluoruro de Azufre	S ₂ F ₂
Fluoruros metálicos	-----

Los átomos de oxígeno e hidrógeno se encuentran debido a las diminutas partículas de humedad en el gas SF₆, sin embargo puede ser posible que se desprendan de algunos materiales asociados con el equipo, por ejemplo, la resina epóxica que se utiliza en soportes aisladores o el sílice contenido en la porcelana.

El frecuente olor a huevo podrido detectado después de una falla severa, se debe al gas fluoruro de tionilo y al ácido fluorhídrico. Es deseable eliminar los productos de arqueo del SF₆ para poder emplearlo nuevamente, por lo que es conveniente recircularlo por filtros de alúmina activada u otro material semejante.

II.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL GAS SF₆

II.2.1 GENERALIDADES.

Las Subestaciones aisladas en gas, son fabricadas o manufacturadas en un sistema integrado. De esta manera puede hacerse efectiva la aplicación del Gas SF₆, debido a que éste tiene una capacidad de extinción de arco en el momento de falla muy superior al de los sistemas tradicionales conocidos.

Todos los dispositivos que forman la Subestación se encuentran totalmente introducidos y encapsulados en el Gas SF₆ (Hexafluoruro de Azufre).

El Gas se utiliza únicamente para aislar las partes conductoras, no para operación de dispositivos. La operación de dichos dispositivos se realiza a través de un sistema neumático independiente.

II.2.2 VENTAJAS.

El avance tecnológico, ha permitido obtener mejores resultados en la fabricación de metales revestidos, lo cual aunado a las excelentes características dieléctricas del Gas SF₆ hace que las Subestaciones de este tipo posean las siguientes características significativas:

a) REDUCCIÓN DEL AREA A OCUPAR.

Debido a la utilización del Gas SF₆, el cual posee una capacidad de aislamiento muy alta, se puede reducir la distancia de aislamiento, dando como resultado la disminución de equipos y por consiguiente la del área utilizada para una Subestación convencional, ya que la empleada en una Subestación aislada en Gas SF₆ es aproximadamente 1/16 parte de la que ocupa una Subestación convencional de características semejantes.

b) PROTECCIÓN CONTRA AGENTES ATMOSFÉRICOS.

Este tipo de Subestaciones están construidas en paquetes herméticos para evitar la fuga de Gas. Esta medida ofrece una excelente protección contra todas las influencias externas y condiciones ambientales del clima donde se instalan, debido a que el Gas no sufre cambios de envejecimiento que ocasionen contaminación al medio conductor.

c) RADIO INTERFERENCIAS.

La fabricación de este tipo de Subestaciones se hace mediante un blindaje, el cual elimina y no permite emisión de radiaciones de alta frecuencia, dando como resultado la eliminación del problema de radio-interferencias.

d) OPERACIÓN SIN RUIDO.

La operación de los interruptores se efectúa sin producirse efecto exterior, debido a que no existe fuga o escape de Gas en dichas operaciones.

e) FLAMABILIDAD.

El uso de Gas SF₆ como medio aislante para las operaciones y aislamiento, garantiza la no flamabilidad absoluta debido a que este gas no es combustible.

f) MANTENIMIENTO.

Considerando que el Gas SF₆ permanece estacionario en los compartimentos de este tipo de Subestaciones se elimina de esta manera la posibilidad de deterioro o corrosión de las partes aislantes de las conductivas, lo cual da como resultado la reducción del mantenimiento acostumbrado o conocido en las Subestaciones subterráneas de tipo convencional.

g) SEGURIDAD DE OPERACIÓN

Como se ha mencionado, las partes conductivas de alta tensión se encuentran en el interior de un compartimento metálico, en el cual está el Gas Herméticamente sellado razón por la que el personal que opera este tipo de Subestaciones no tiene contacto con las partes conductivas.

II.2.3 DESVENTAJAS.

Una de las desventajas del gas SF₆ es la posible existencia de fugas y así se pierda presión del gas.

También puede presentarse presencia de humedad, ácidos, aire y fluoruros menores los cuales dañan al equipo y modifican sus características dieléctricas. Es necesario tomar en cuenta que algunas impurezas se encuentran en el gas, como resultado del proceso de manufactura, y aunque no existan reglas precisas en cuanto a los límites aceptables de impurezas en el Gas SF₆ en servicio, ya que dependen del diseño y localización del equipo, la experiencia dará los límites promedio máximos para decidir en un momento dado si es necesario regenerar o reemplazar el gas.

II.3. USOS Y APLICACIONES EN EL SECTOR ELÉCTRICO

Ejemplos comunes de aplicación:

- Subestaciones en donde el espacio es altamente costoso, como en áreas densamente pobladas, en zonas residenciales y/o comerciales.
- Subestaciones en donde se requiere una protección adicional contra agentes contaminantes y/o corrosivos en zonas industriales, o en atmósferas de sal y/o polvo.
- Subestaciones en Plantas Generadoras en donde los equipos de switcheo deben estar muy cerca a los Transformadores de Potencia, para conformar un arreglo ideal.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ (AMPLIACIÓN)

III.1 ANTECEDENTES.

La función de esta Subestación de Alta Tensión es la de distribuir la potencia eléctrica generada en la central (mediante líneas de transmisión), a los centros de consumo.

La Subestación en construcción será una ampliación a la Subestación encapsulada en SF₆ existente, para una tensión de 115 kV, 3 Fases, 60 Hz, Servicio intemperie, arreglo de Doble Barra (Barra Principal y Barra de Transferencia).

Los buses de fase segregada serán trifásicos, fabricados en secciones y unidos con bridas atornillables y empaques que garanticen la hermeticidad y conducción de energía eléctrica.

Se considera dentro del alcance de suministro, lo necesario para lograr la interconexión de la Subestación (módulo adicional en SF₆), con la Subestación existente. Asimismo tendrá la extensión de los buses de SF₆ de la Subestación existente para conectarse a un Bus o Barra aérea.

La subestación existente es marca Toshiba y tiene preparaciones para conectarse con módulos en SF₆ adicionales.

Esta Subestación (módulo adicional en SF₆), se conectará al transformador principal de la nueva unidad generadora a través de buses aéreos (cables ACSR), boquillas SF₆-Aire, estructuras de remate y boquillas Aceite-Aire.

El diseño de la Subestación debe cumplir con los estudios de Corto Circuito tanto trifásicos como monofásicos, de estabilidad y flujos a través de la red de alta tensión, con el estudio de Coordinación de Aislamiento, con el arreglo indicado en

el Diagrama Unifilar de la Subestación, así como con las características particulares de cada uno de sus componentes. (ver diagrama III.2.5.)

Valores de corrientes de corto circuito en el Bus de 115 kV de la Central actual Puerto San Carlos (General Agustín Olachea Avilés).

Falla trifásica: 2205 Amperes simétricos

Falla monofásica : 2520 Amperes simétricos

Equivalentes de Thevenin en p.u. (por unidad) en base a 100 MVA

$$R1 = 0,01707$$

$$X1 = 0,22729 \text{ (sec +)}$$

$$X1/R1 = 13,314$$

$$R2 = 0,02015$$

$$X2 = 0,27432 \text{ (sec -)}$$

$$X2/R2 = 13,617$$

$$R0 = 0,00639$$

$$X0 = 0,09498 \text{ (sec 0)}$$

$$X0/R0 = 14,864$$

Se aclara que estos valores de corriente están dados para el año 1998 y para seleccionar componentes de cortocircuito, se considerarán el doble del máximo valor arriba anotado. Para calcular arranque de motores debe considerarse el 50 % del valor menor de falla trifásica de los valores arriba indicados.

La distancia mínima de fuga de fase a tierra para todos los aislamientos externos (boquillas, aisladores soporte y cadenas de aisladores), será de 5.6 cm/kV.

Para el cableado de control, se emplearán cables con pantalla electrostática formada a base de cintas de cobre y aterrizadas para protección de interferencias electromagnéticas.

La Subestación Encapsulada en SF₆ contará con tableros de control local y remoto y además cumplir con los siguientes requisitos:

Espacios adecuados para mantenimiento y circulación de personal. Así como dimensiones adecuadas para maniobras de equipo. Alumbrado normal, esencial y de emergencia, así como equipos de intercomunicación y voiceo.

Sistema contra incendio a base de extinguidores de pared colocados en puntos estratégicos. Contendrá el sistema de tierra completo.

La Subestación en SF₆ y el equipo convencional se protegerá contra descargas atmosféricas por medio de hilos de guarda y bayonetas conectadas al sistema de tierras de la misma.

III.2 FUNCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

III.2.1 Sistema de Comunicación

La subestación estará comunicada con el Sistema de Control Central de la planta, (SCC) a través de fibra óptica y se considerará como un nodo más del Sistema de Control Central.

III.2.2 CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

1. Instrumentación Eléctrica Local (Supervisión)

La Subestación tendrá detectores de presión en los compartimentos de gas e interruptores, ajustados para alarma local y remotamente, por pérdida de presión de gas SF₆ y bloquear los interruptores cuando se llegue al valor límite en el cual no se asegura la capacidad interruptiva.

Los interruptores de potencia y las cuchillas desconectoras tendrán juegos de contactos auxiliares para fines de señalización y control.

Cada interruptor contará con instrumentación para realizar las siguientes funciones:

a) Detectar así como señalar (local y remotamente), condiciones anormales en cámaras o mecanismos antes de que se alcance valores que pongan en riesgo el funcionamiento correcto del equipo o su integridad.

b) Bloquear la operación del interruptor al quedar fuera de los límites de seguridad.

c) Alarmar por pérdida de presión en el gas SF₆ y bloquear cuando se llegue al valor límite en el cual no se asegura la capacidad interruptiva.

d) Alarmar por pérdida de presión en el mecanismo de operación y bloquear el cierre, cuando la presión alcance un valor límite que no garantice la operación de disparo.

e) Alarmar por pérdida de nitrógeno en el acumulador de presión en mecanismo hidráulico.

f) Alarmar por alta y baja presión en el sistema de aire en interruptor con mecanismos neumáticos.

g) Disparar y alarmar al ocurrir disparidad de polos. Bloquear, proporcionar permisivos y señalización mediante contactos auxiliares. Alarmar al ocurrir falla eléctrica en el mecanismo de operación.

h) Alarmar mediante relevadores de bajo voltaje la pérdida de voltaje en los circuitos de control de apertura y cierre tanto de interruptores como de cuchillas desconectadoras.

2. Control y Protección Eléctrica

Los circuitos de control de cierre y apertura para interruptores y cuchillas desconectadoras, serán alimentados en corriente directa.

Cada interruptor tendrá una bobina de cierre y dos de disparo. Las bobinas de disparo están alimentadas desde diferente conjunto de: Tablero de C.D. + Baterías + Cargador de Baterías. Cada grupo de Baterías + Cargador de Baterías será de 100%.

En los circuitos de control se cumplirá lo siguiente:

Los interruptores y cuchillas desconectadoras tendrá gabinetes para control provistos de selector "LOCAL-REMOTO" y circuito completo para arranque y paro de los motores pertenecientes a los mecanismos de operación.

El control remoto de todos los interruptores y cuchillas desconectoras de la Subestación llevará a cabo desde las unidades de control, señalización y medición (pantallas) instaladas en el cuarto de control de la planta, así como desde el CENACE. El control de estos equipos, debe tener un selector "Planta-CENACE" en las pantallas de la planta.

Todos los interruptores reciben señales de cierre, disparo, bloqueo y permisivos provenientes de:

- Protección por disparidad de polos.
- Baja presión de SF₆.
- Baja densidad de SF₆
- Protección de respaldo por falla de interruptor.
- Esquema de sincronización.
- Cuchillas asociadas.

Se considerará el suministro, la instalación y la puesta en servicio, de todo lo relacionado con las señales de los transformadores de corriente para Protección Diferencial de Barras y las señales de los transformadores de corriente para la Protección 50 FI (Falla de Interruptor) del módulo adicional en SF₆, para su implementación en el esquema de protecciones (permisivos y bloqueos) de la Subestación existente.

3. Instrumentación y Control de ICA (Instrumentación, Control y Automatización)

3a) Circuitos Analógicos de Medición

Se enviarán señales de voltaje y frecuencia de la Subestación a un acondicionador de señal analógica (ASA), y al voltmetro y frecuencímetro para activar su medición en las pantallas de control señalización y medición de la planta. También enviarán señales directamente de los secundarios de los

transformadores de potencial de la subestación y de línea a las ménsulas de sincronización de planta a través de la interfase con el tablero de protección.

3b) Circuitos Binarios de Medición

Se contará con señales binarias de los siguientes sensores: Relevadores, interruptores de límite y contactos auxiliares de los interruptores en SF₆, cuyos contactos se deben conectar a los acondicionadores de señales binarias (ASB), para alimentar a módulos de interfase, sistema de control central (SCC) y sistema de alarmas.

III.2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA S.E. EN SF₆

Estas características son aplicables a todos los equipos y accesorios de la subestación en SF₆.

1) Frecuencia Nominal	60	Hz
2) Tensión nominal del equipo	115	kV rcm
3) Corriente nominal en :		
- barras	2000	A rcm
- bahías de salida	1250	A rcm
4) Corriente nominal de interrupción	25	kA rcm
5) Corriente de corta duración (1 segundo)	25	kA rcm
6) Corriente dinámica	80	kA cresta
7) Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50µs)	550	kV cresta
8) Distancia de fuga mínima para aislamiento externo (intemperie)	5.6	cm/kV

III.3. CRITERIOS Y ALTERNATIVAS PARA LA SELECCIÓN DE LA NUEVA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ENCAPSULADA EN SF₆ (HEXAFLUORURO DE AZUFRE) AMPLIACIÓN

III.3.1 CONCEPTOS GENERALES

Los diagramas unifilares simplificados que representan Subestaciones encapsuladas y aisladas en Gas Hexafluoruro de azufre (SF₆) solo difieren respecto a los que representan Subestaciones convencionales en aire en la localización de las cuchillas para conexión a tierra.

En estas Subestaciones en SF₆, las envolventes o carcasas constituyen un medio continuo de conexión a tierra e igual potencial al neutro; además, debe ser posible mantener la Subestación en servicio mientras se efectúa mantenimiento a algún módulo de interruptor o cuchilla desconectadora principal.

Por lo anterior, la localización de cuchillas de puesta a tierra en Subestaciones en SF₆ se hace siempre en ambos extremos de aquellos módulos que contengan equipos primarios que conecten o desconecten partes "vivas" (barras) de la Subestación.

De acuerdo con su mecanismo y tiempo de operación, existen dos tipos de cuchillas de puesta a tierra que son las de accionamiento rápido y las de accionamiento lento. Las cuchillas de puesta a tierra que se localizan en la llegada de líneas y en las barras colectoras, son de accionamiento rápido; todas las demás son de accionamiento lento.

Las Subestaciones Encapsuladas en Gas SF₆ han demostrado absolutamente su alta confiabilidad y seguridad de operación, aun ante los requerimientos de operación más rigurosos y estrictos.

Gracias a su diseño modular se puede configurar los más diversos Arreglos de las instalaciones, con objeto de ajustar perfectamente a los espacios disponibles.

Ejemplos comunes de aplicación:

- Subestaciones en donde el espacio es altamente costoso, como en áreas densamente pobladas, en zonas residenciales y/o comerciales.
- Subestaciones en donde se requiere una protección adicional contra agentes contaminantes y/o corrosivos en zonas industriales, o en atmósferas de sal y/o polvo.
- Subestaciones en Plantas Generadoras en donde los equipos de maniobra deben estar muy cerca a los Transformadores de Potencia, para conformar un arreglo ideal.

III.3.2 ARREGLOS TÍPICOS DE SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN

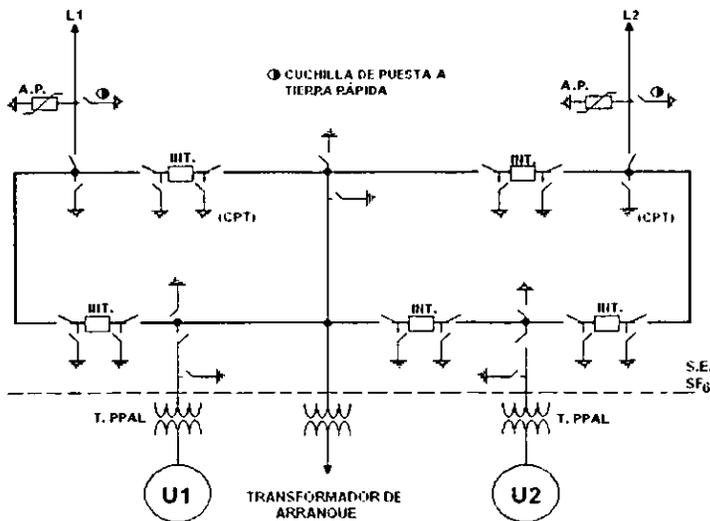


FIGURA: III.01.- ARREGLO EN ANILLO (ENCAPSULADA EN SF₆).

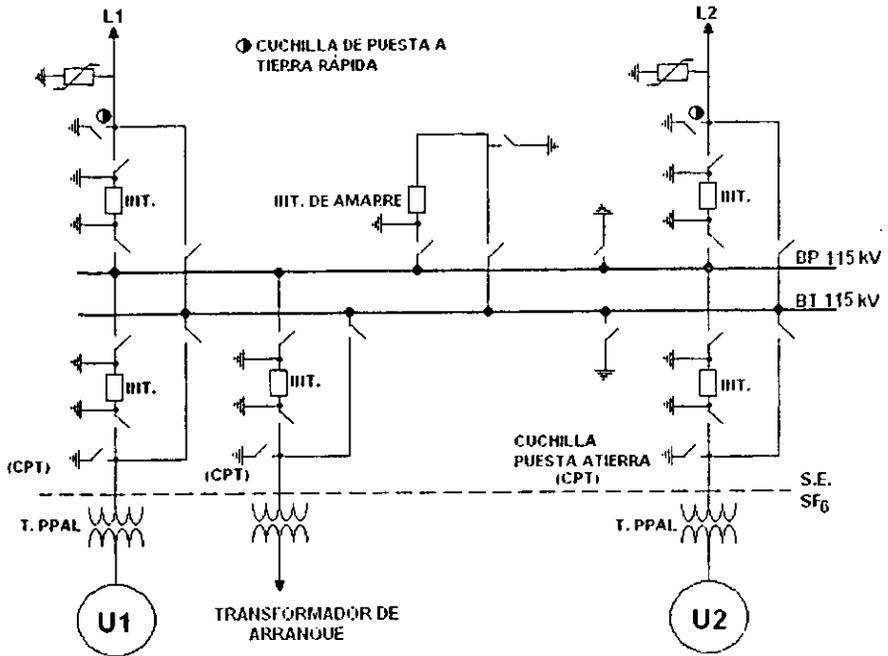


FIGURA: III.02.- ARREGLO DE BUS PRINCIPAL Y BUS DE TRANSFERENCIA CON INTERRUPTOR DE AMARRE (ENCAPSULADA EN SF₆)

CONCLUSIÓN:

Como resultado del análisis anterior, se decidió optar por la alternativa del arreglo de barra principal y barra de transferencia con interruptor de amarre, ya que es el arreglo de la central existente.

TABLA: TIII.01.- COMPARATIVA-TÉCNICA ENTRE LOS SIGUIENTES ARREGLOS

ARREGLO EN ANILLO

ARREGLO BARRA PRINCIPAL Y BARRA DE TRANSFERENCIA CON INTERRUPTOR DE AMARRE

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
1.- Cada circuito es alimentado por 2 interruptores, cada uno de los cuales puede ser reparado sin interrumpir la energía.	
2.- Normalmente todos los interruptores están cerrados al ocurrir una falla en cualquier circuito abrirán los dos interruptores.	
3.- Las cuchillas son empleadas únicamente para reparación y para aislar físicamente el circuito.	
4.- Alta continuidad de servicio con comparativamente poco equipo.	
5.- Dificultad de ampliación (cualquier aumento de circuitos requerirán una cantidad considerable de trabajo).	
6.- Este arreglo es usado cuando se desea mantener la conexión entre secciones de bus, aún en el caso de pérdida de una sección y facilita la transferencia de potencia entre secciones.	
7.- Ahorro en espacio debido a que se compacta el arreglo físico.	
8.- Permite mantenimiento de los interruptores sin tener que sacar un circuito o en sacrificar la protección.	
CONCLUSIONES	
1.- Se usa en instalaciones importantes, que no tengan ampliaciones.	

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
1.- Es un método económico para sustituir cualquier interruptor de potencia sin necesidad de poner fuera de servicio dicho circuito, con lo cual se aumenta la continuidad de servicio por circuito, dependiendo de las necesidades de la instalación.	
2.- Se tiene facilidad de operación, ya que las maniobras requeridas para sustituir un interruptor son muy sencillas.	
3.- Se tiene facilidad de ampliación.	
4.- Salida de toda la instalación, al darle mantenimiento al bus principal.	
CONCLUSIONES	
1.- Este arreglo es recomendable para instalaciones en donde la continuidad de servicio es importante, pero no lo suficiente para ameritar un gasto adicional en otros arreglos.	
2.- Es recomendable en instalaciones en las cuales el número de alimentadores es corto.	
3.- Es recomendable en instalaciones donde se tenga un solo circuito alimentador.	
4.- Es recomendable en regiones cuya característica de carga permita programar mantenimientos sin afectar a los usuarios.	

III.3.3 ALTERNATIVAS PARA DEFINIR EL ARREGLO MÁS ADECUADO PARA LA AMPLIACIÓN DE LA C.D. PUERTO SAN CARLOS CONSIDERANDO DESDE UNA UNIDAD DE 39,3 MW A TRES UNIDADES QUE EN SU TOTALIDAD GENEREN 39,3 MW

Antecedentes:

- 1.- Se tiene una demanda prevista de energía eléctrica de 39,3 MW.
- 2.- Se debe conectar la(s) unidad(es) generadora(s) a una subestación encapsulada en SF₆ arreglo de Barra principal y Barra de transferencia.
Para definir el tipo de arreglo de la(s) unidad(es) se proponen tres alternativas:

III.3.3.1.- Alternativa 1:

En esta primera alternativa se propone tener varias unidades generadoras que en su total generen 39,3 MW. Conectados todos los generadores a un bus de 13,8 kV y con un solo Transformador Principal y la Subestación eléctrica encapsulada en SF₆ de una sola bahía, ver figura: III.03.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Gran flexibilidad al ser tres unidades generadoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tendría mayor cantidad de equipo al incrementarse el número de unidades. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de varias unidades de generación. 	

	<ul style="list-style-type: none"> El área de la central se incrementaría conforme aumenten el número de unidades. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Se debe tener mayor cantidad de partes de repuesto, mantenimiento, etc. 	

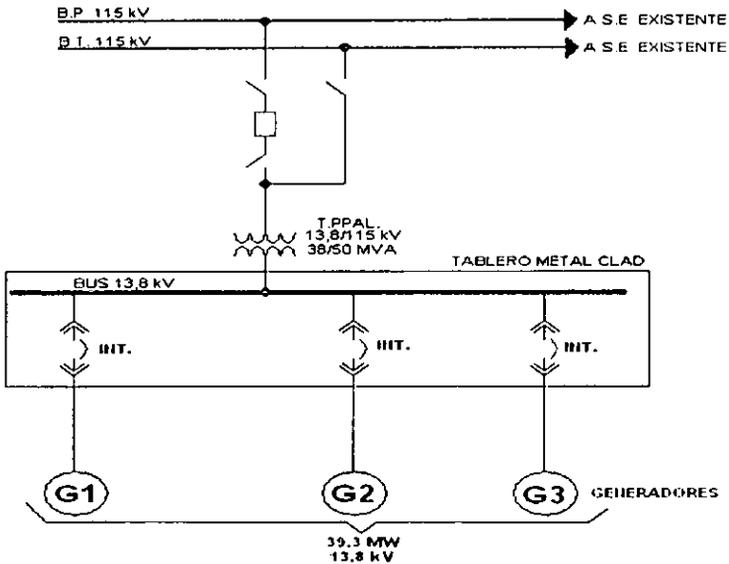


FIGURA: III.03.- ALTERNATIVA 1. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ PARA EL CASO DE SER VARIAS UNIDADES Y EN TOTAL GENEREN 39,3 MW.

III.3.3.2.- Alternativa 2:

En esta alternativa se propone varias unidades generadoras que en total generen 39,3 MW, pero cada unidad generadora se conecta a una bahía de la Subestación encapsulada en SF₆ existente, con un Transformador Principal también independiente de cada unidad.

Este arreglo tendrá una gran flexibilidad, pero al tener cada unidad generadora un modulo independiente (S.E. en SF₆), y un transformador principal por cada unidad generadora, da como resultado una solución muy cara. Esta alternativa no se recomienda por su alto costo. Ver figura: III.04.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> Mayor flexibilidad y confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo 	

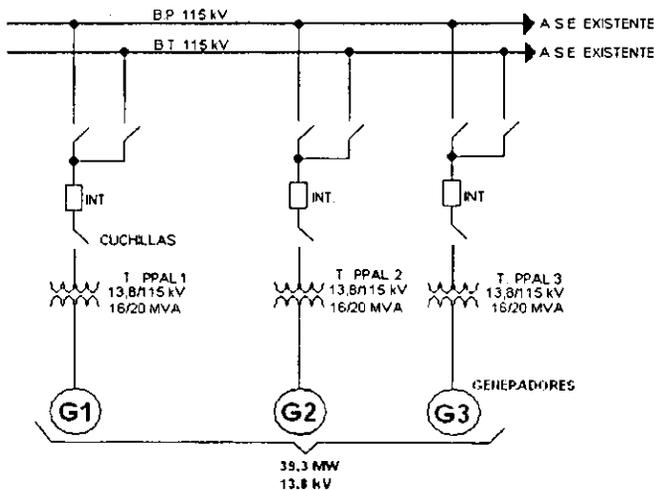


FIGURA: III.04.- ALTERNATIVA 2. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA PLANTA Y SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ PARA EL CASO DE SER UNA BAHÍA DE SUBESTACIÓN POR CADA UNIDAD GENERADORA.

III.3.3.3.- Alternativa 3:

En esta alternativa se propone una sola unidad que genere 39,3 MW con un solo Transformador Principal y a una sola bahía de la Subestación encapsulada en SF₆, esta bahía será una ampliación a la Subestación encapsulada en SF₆ existente. Ver figura: III.05.

VENTAJAS	DESVENTAJAS	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> Utilizará menor número de equipo y menor mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> <u>No tendrá flexibilidad.</u> 	

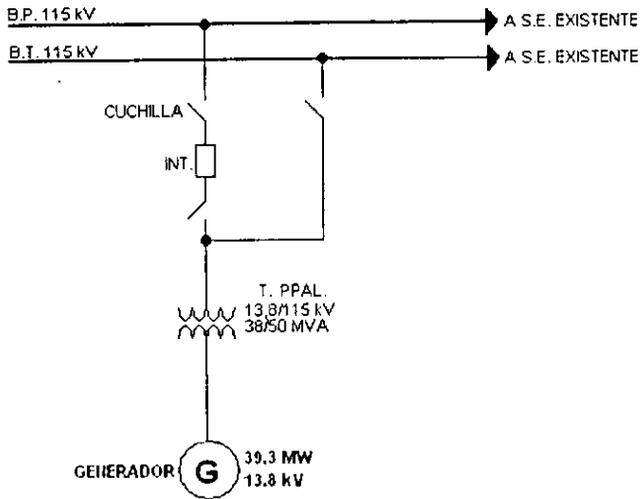


FIGURA: III.05.- ALTERNATIVA 3. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ PARA EL CASO DE SER UNA BAHÍA DE SUBESTACIÓN POR CADA UNIDAD GENERADORA.

De acuerdo al análisis que se ha realizado y ver varias alternativas se propone tener varias unidades generadoras que en total generen 39,3 MW, con un solo Transformador Principal, unidos a una Subestación encapsulada en SF₆ de una sola bahía, ya que se tendría una gran confiabilidad y flexibilidad al ser más de una unidad.

Además se requerirá de interconectar la Subestación Eléctrica nueva con la existente, para tener una mayor flexibilidad al ser varias las líneas de transmisión, además podrán cubrirse demandas entre las mismas Centrales Generadoras.

Para esta unión se propone utilizar un bus aéreo (cable ACSR), boquillas SF₆-aire, y estructuras de remate.

Este bus aéreo será mucho más económico que el correspondiente al bus encapsulado en gas SF₆, además que estas Subestaciones (Ampliación-Existente) estarán interconectadas.

Una nueva línea de transmisión no será necesaria, ya que con las existentes se podrán incrementar la potencia sin afectar considerablemente la capacidad térmica de los conductores. Resultaría mucho más económico y adecuado un arreglo de este tipo, debido a que la S.E. será pequeña con un solo interruptor de potencia, y no hay costos por construcción de una línea de transmisión.

CONCLUSIONES:

Aunque en el análisis anterior se recomendó la alternativa 1, el concurso quedó abierto para que los licitantes cotizaran desde 1 hasta 4 unidades que en su totalidad generen 39,3 MW. El resultado de la evaluación fue de adquirir una unidad generadora con el arreglo de la alternativa N° 3.

III.3.4 ALTERNATIVAS PARA DEFINIR EL TIPO DE CONEXIÓN ENTRE LA NUEVA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆, CON LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ EXISTENTE.

III.3.4.1.- ANTECEDENTES.

De la Subestación existente se tiene:

1. - Un arreglo de barra principal y barra de transferencia con interruptor de amarre.
- 2.- Es encapsulada en SF₆ tipo intemperie.
- 3.- Preparaciones para poderse conectar a las barras principal y de transferencia.

De la Subestación nueva se tiene:

- 1.- Debe ser encapsulada en SF₆ tipo intemperie y con el mismo arreglo que la Subestación existente.

III.3.4.2.- CONSIDERACIONES.

Debido a que la nueva central (Unidad 3) está separada de la subestación existente aproximadamente 60 m, es conveniente definir el tipo de conexión entre el Transformador Principal de la Unidad 3 con su nueva bahía, que estará junto a la Subestación en SF₆ existente, por lo que se proponen las siguientes alternativas:

III.3.4.2.1.- Alternativa 1:

Con esta alternativa se pretende instalar la nueva S.E. encapsulada en SF₆ frente al transformador principal de la Unidad 3. Ésta Subestación tendrá sus buses principal y de transferencia encapsulados en SF₆. Para enlazar las dos

subestaciones se deben instalar dos estructuras que soportarán los dos buses aéreos con cable ACSR.

En este arreglo se deben utilizar boquillas SF₆-aire y aisladores soporte.

En esta alternativa no se considera una línea de transmisión a Cd. Constitución.

Se tendrá que adicionar un tramo de bus en SF₆ aproximadamente de 6 m. De los buses (barra principal y de transferencia en SF₆), de la S.E. existente para conectarse a la estructura soporte. Ver figura: III.06.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Se reduce el costo del bus aéreo (cable ACSR) con respecto al bus en SF₆. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgos de falla mayor en buses aéreos (cable ACSR), en comparación de la alternativa 2.
<ul style="list-style-type: none"> • Se podrán cubrir demandas entre las mismas unidades de generación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene que hacer lavado de aisladores en caliente en forma más continua, mayor que la alternativa 2.
<ul style="list-style-type: none"> • La S.E. nueva será una ampliación de la S.E. existente, pero alejada 60m. 	<ul style="list-style-type: none"> • La nueva S.E. no queda integrada físicamente a la S.E. existente y se aumenta el riesgo de falla.
<ul style="list-style-type: none"> • El costo de la nueva S.E. será menor, con respecto a la alternativa 3, pero es más cara que la alternativa 2. En este arreglo no se tendrá línea de transmisión de San Carlos a Cd. Constitución. 	<ul style="list-style-type: none"> • La S.E. en conjunto será híbrida, ya que se unirán por medio de buses aéreos por medio de Aluminio ACSR.

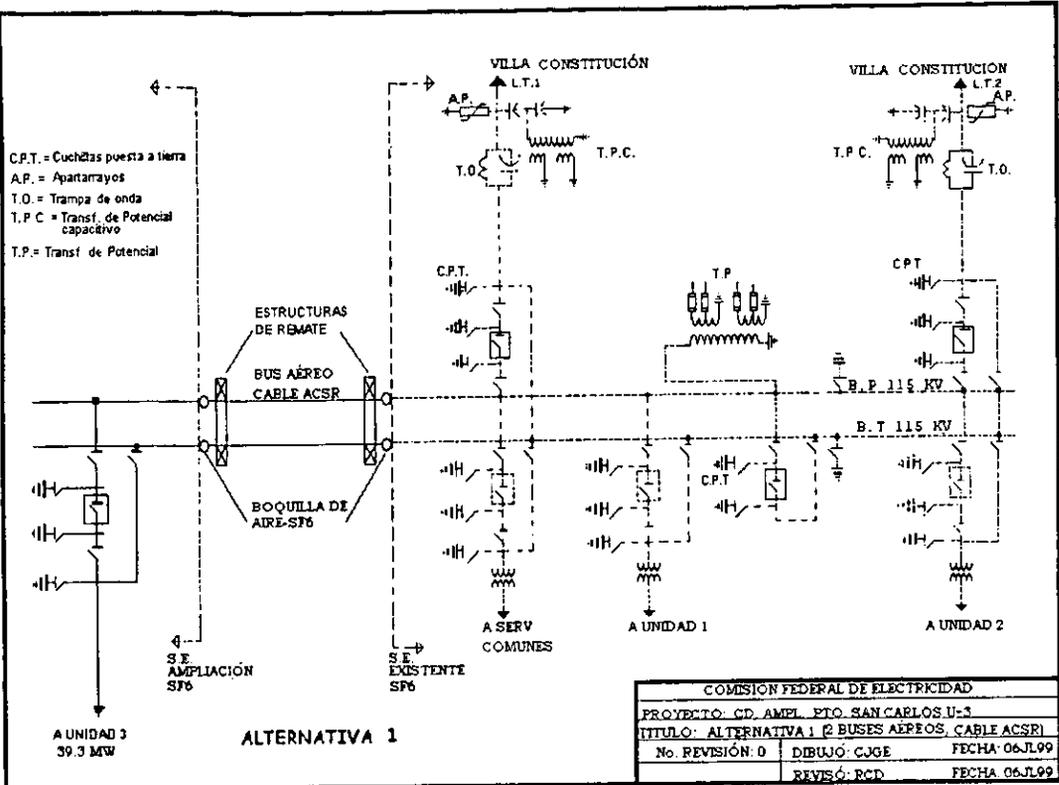


FIGURA: III.06.- ALTERNATIVA 1. DOS BUSES AÉREOS, CABLE ACSR.

III.3.4.2.2.- Alternativa 2:

Con esta alternativa se pretende instalar la nueva Subestación encapsulada en SF₆ junto a la Subestación en SF₆ existente. El Transformador Principal de la Unidad 3 se conectará a la nueva Subestación en SF₆ por medio de un bus aéreo con cable de Aluminio ACSR, boquillas Aire-SF₆ y boquillas Aceite-SF₆.

Además se tendrá que adicionar un tramo de bus en SF₆ aproximadamente de 6 m de los buses (barra principal y de transferencia en SF₆), de la S.E. existente para conectarse a la estructura soporte. Ver figura: III.07.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • La S.E. nueva será una ampliación de la S.E. existente. 	<ul style="list-style-type: none"> • El riesgo de falla en el bus aéreo (cable Aluminio ACSR). Es menor que si se tienen 2 buses aéreos (alternativa 1).
<ul style="list-style-type: none"> • Se podrán cubrir demandas entre las mismas unidades de generación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene que hacer lavado de aisladores en caliente en forma más continua, pero menor que si fueran 2 buses aéreos (alternativa 1).
<ul style="list-style-type: none"> • El costo del bus aéreo (cable de Aluminio ACSR) será menor comparado con el bus en SF₆ o un bus doble con cable de Aluminio ACSR. 	
<ul style="list-style-type: none"> • La nueva S.E. queda integrada físicamente a la S.E. existente. 	
<ul style="list-style-type: none"> • El costo de la nueva S.E. será menor, comparada a la alternativa 1, 3 y 4. En este arreglo no se tendrá línea de transmisión de San Carlos a Cd. Constitución. 	

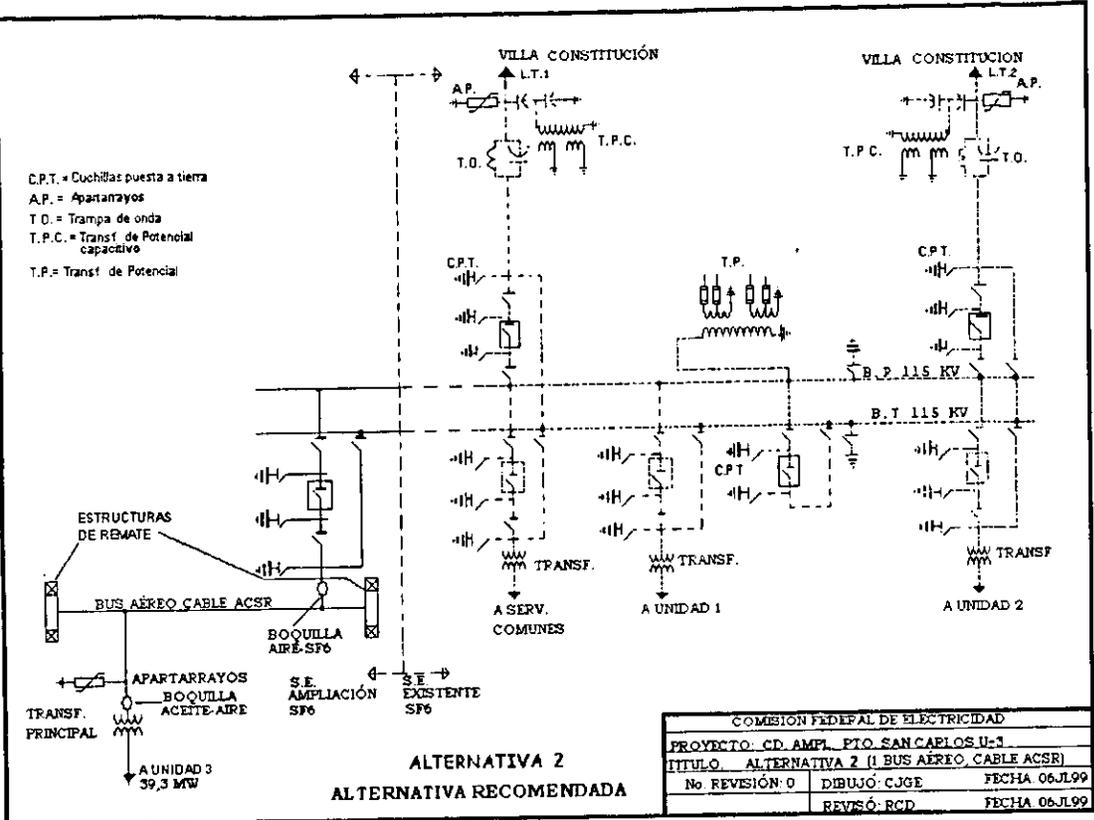


FIGURA: III.07.- ALTERNATIVA 2. UN BUS AÉREO, CABLE ALUMINIO ACSR.

III.3.4.2.3.- Alternativa 3:

Con esta alternativa se pretende instalar la nueva Subestación encapsulada en SF₆ independiente. La unidad nueva tendrá su propia Subestación encapsulada en SF₆.

En este arreglo no se tendrán por consiguiente buses de enlace con la S.E. existente en SF₆. Ver figura: III.08.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Se requerirá de un interruptor de amarre para las barra principal y de transferencia de la subestación nueva.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se requerirá de un interruptor de línea de transmisión (DP's, trampas de onda y apartarrayos) de la C.D. Puerto San Carlos hacia Cd. Constitución.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se requerirá un transformador de potencial para las barras principal y transferencia de la S.E. nueva.
	<ul style="list-style-type: none"> • No se podrán cubrir las demandas entre las unidades de generación.
	<ul style="list-style-type: none"> • La solución más cara, con respecto a las otras alternativas y se pierde flexibilidad al salir únicamente por una línea de transmisión.

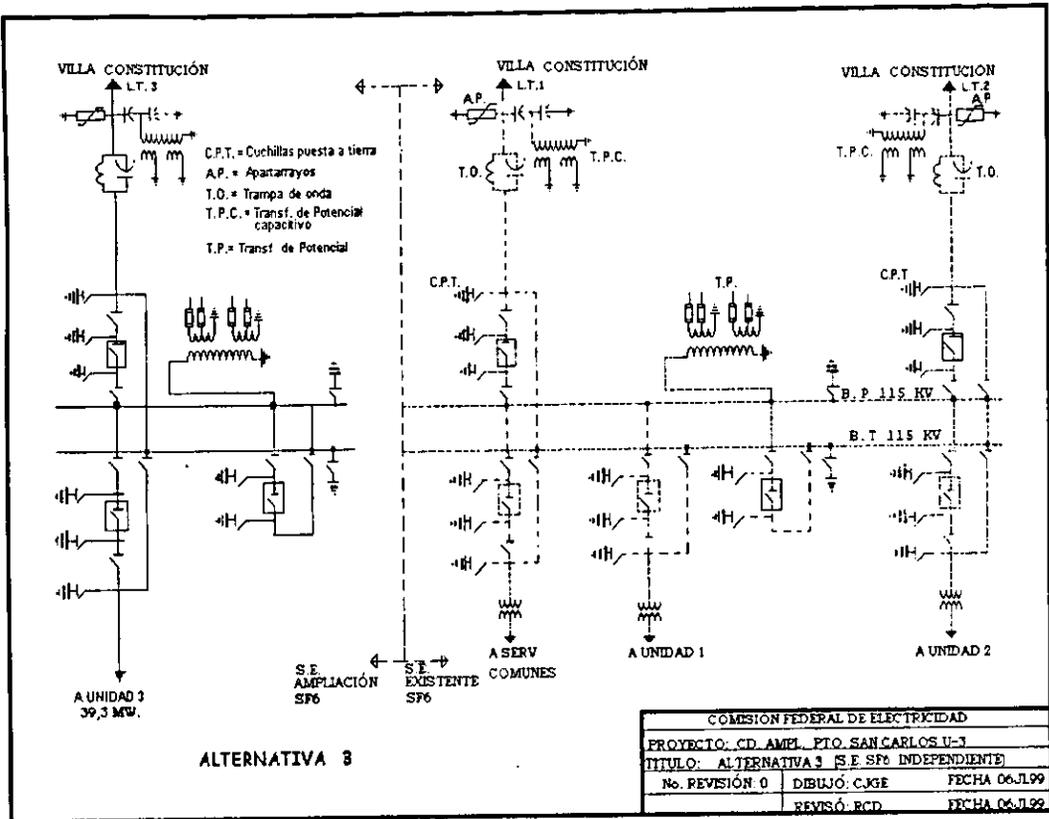


FIGURA: III.08.- ALTERNATIVA 3. SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ INDEPENDIENTE.

III.3.4.2.4.- Alternativa 4:

Con esta alternativa se pretende enlazar la Subestación encapsulada en SF₆ existente con la Subestación encapsulada en SF₆ nueva, a través de dos buses trifásicos en SF₆ además debe incluir boquillas SF₆-Aceite y estructuras soporte.

Se tendrán que adicionar dos tramos de buses trifásicos en SF₆, aproximadamente de 70 m. cada uno, desde la S.E. existente hasta las terminales del módulo adicional en SF₆ de la nueva Unidad. Ver figura: III.09.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Se podrán cubrir demandas entre las mismas unidades de generación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo muy alto del bus en SF₆ con respecto a los buses aéreos con cable de Aluminio ACSR.
<ul style="list-style-type: none"> • Se disminuye el riesgo de falla al no tener bus aéreo con cable de Aluminio ACSR. 	
<ul style="list-style-type: none"> • No se tiene que hacer lavado de aisladores en caliente en forma más continua. 	

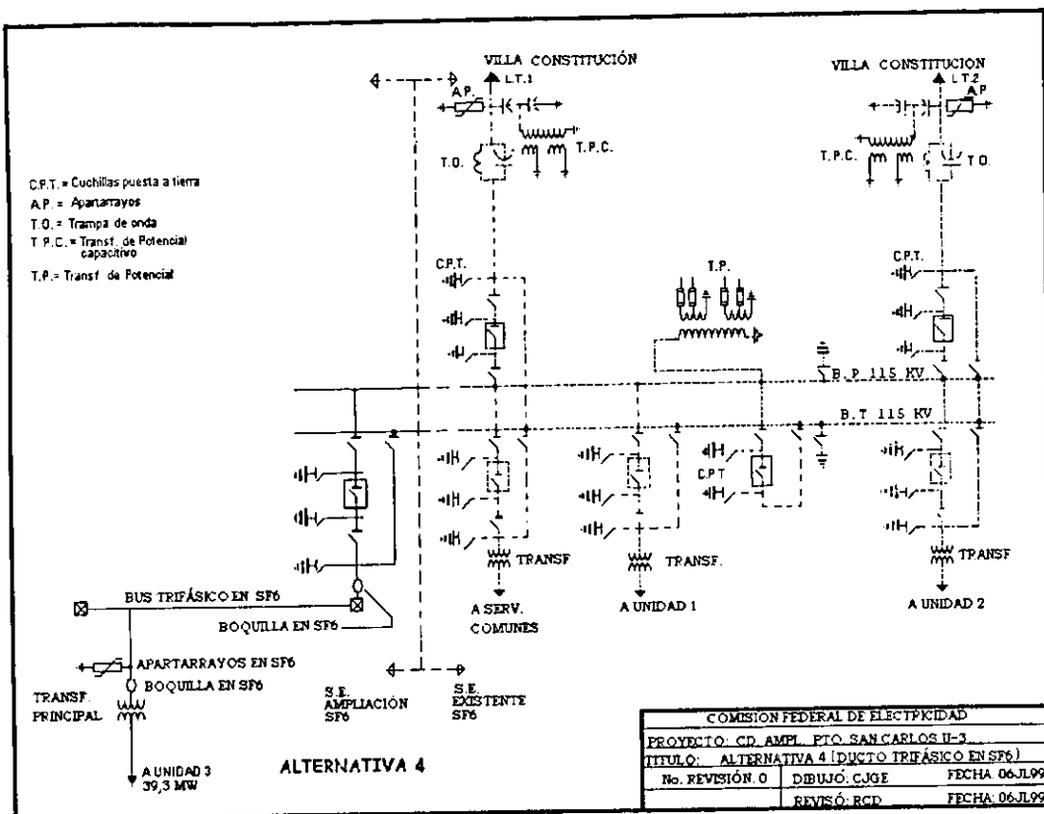


FIGURA: III.09.- ALTERNATIVA 4. DUCTO TRIFÁSICO EN SF₆.

CONCLUSIONES.

De acuerdo al análisis anterior, se escogió la alternativa 2, que consiste en instalar la nueva Subestación Encapsulada en SF₆ junto a la Subestación Encapsulada en SF₆ existente. En esta alternativa se conectará el Transformador Principal de la Unidad 3 con la nueva Subestación Encapsulada en SF₆, por medio de un bus aéreo con cable de Aluminio ACSR.

Se llegó a la conclusión en virtud de que resulta más económica que las otras tres alternativas y presenta mayores ventajas que las alternativas 1, 3 y 4.

La alternativa 4 técnicamente es más segura que la alternativa 2, pero su costo es demasiado alto que no justifica su instalación.

Para disminuir posibles riesgos de falla, se tomaron ciertas previsiones, tales como, instalar Apartarrayos lo más cerca posible del transformador principal, incrementar la Distancia Mínima de Fuga a Tierra en todos los aislamientos externos (Boquillas del Transformador principal, Cadenas de aisladores, Aisladores soporte, Hilos de guarda y Boquillas del interruptor de la Subestación en SF₆, etc., y ampliar la cobertura de la Protección Diferencial de Grupo (87 GT)).

III.3.5 COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE EL BUS AEREO Y EL BUS DUCTO.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNATIVA 1 BUS AÉREO CON CABLE DE ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none"> El costo del bus aéreo (cable de Aluminio ACSR) es mucho menor comparado con un bus en SF₆. 	<ul style="list-style-type: none"> Se incrementa el riesgo de falla en el bus aéreo con cable de Aluminio ACSR con respecto a un bus trifásico en SF₆
ALTERNATIVA 2 BUS DUCTO ENCAPSULADO EN SF₆	<ul style="list-style-type: none"> Se disminuye el riesgo de falla al ser el bus encapsulado en SF₆. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo muy alto del bus en SF₆ con respecto al bus aéreo con cable de Aluminio ACSR.

	<ul style="list-style-type: none"> No se tiene que hacer lavado de aisladores en caliente en forma más continua. 	<ul style="list-style-type: none"> El precio del Bus en SF₆ es aproximadamente el mismo que el de la bahía encapsulada en SF₆ (Interruptor, Cuchillas, TC'S, tramos de bus ducto, instalación y puesta en servicio
--	---	---

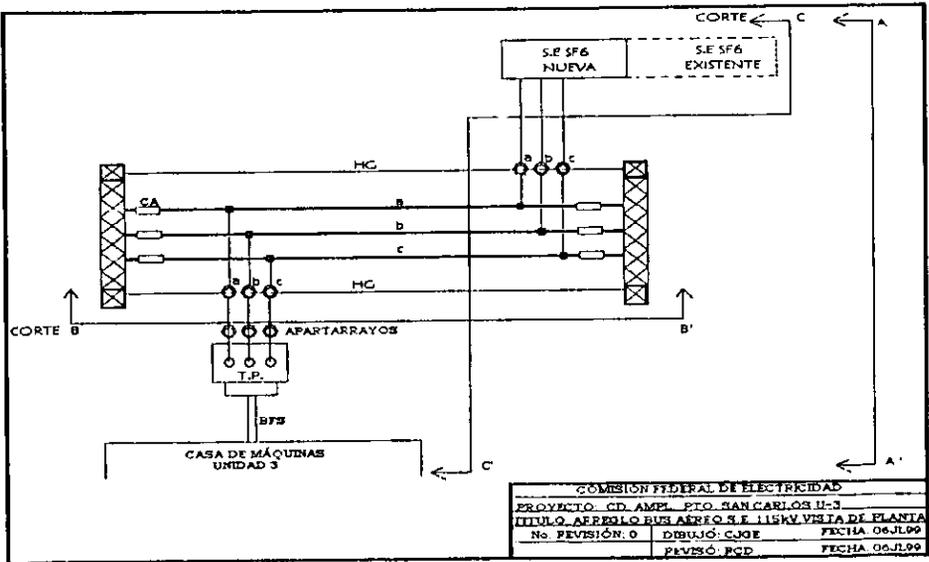


FIGURA: III.10.- VISTA DE PLANTA DEL ARREGLO BUS AÉREO SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

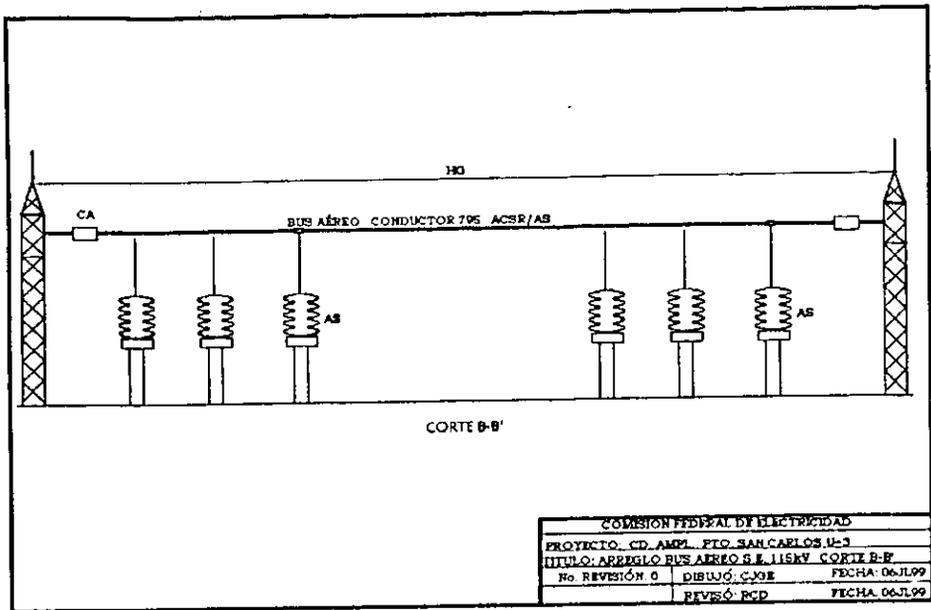


FIGURA: III.11.- CORTE B-B' DEL ARREGLO BUS AÉREO SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

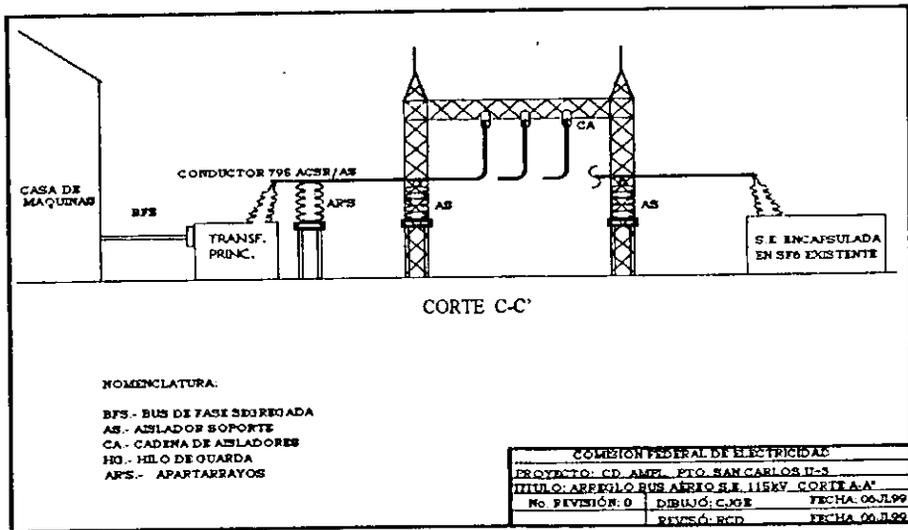


FIGURA: III.12.- CORTE C-C' DEL ARREGLO BUS AÉREO SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

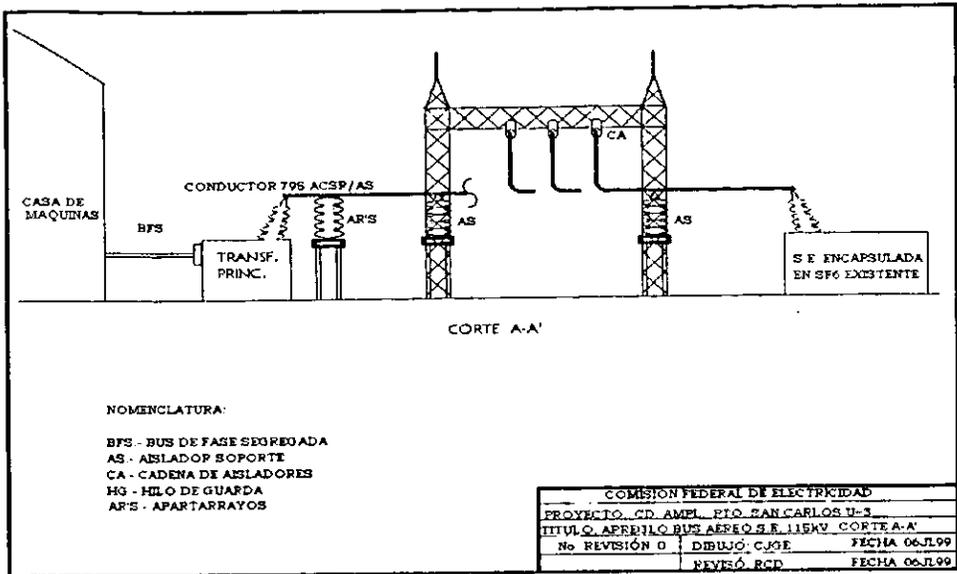


FIGURA: III.13.- CORTE A-A' DEL ARREGLO BUS AÉREO SUBSTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

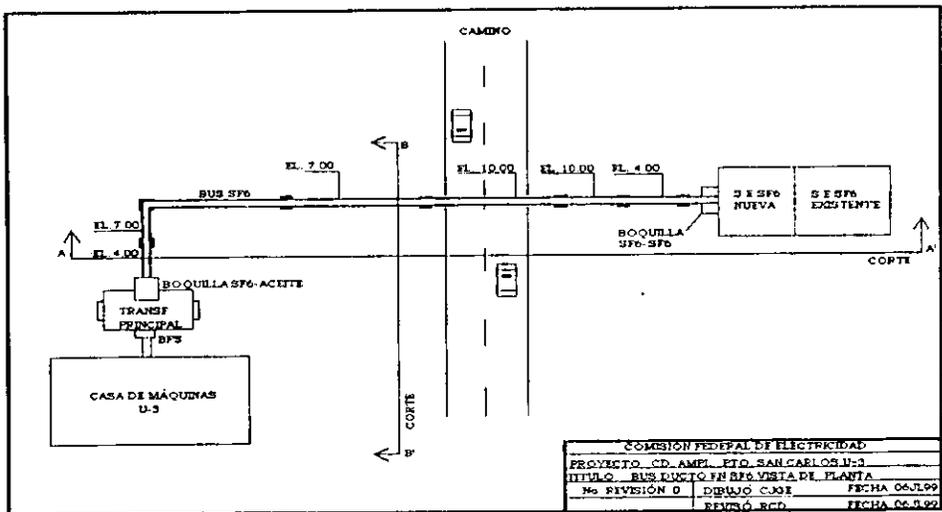


FIGURA: III.14.- VISTA DE PLANTA DEL ARREGLO BUS DUCTO SUBSTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

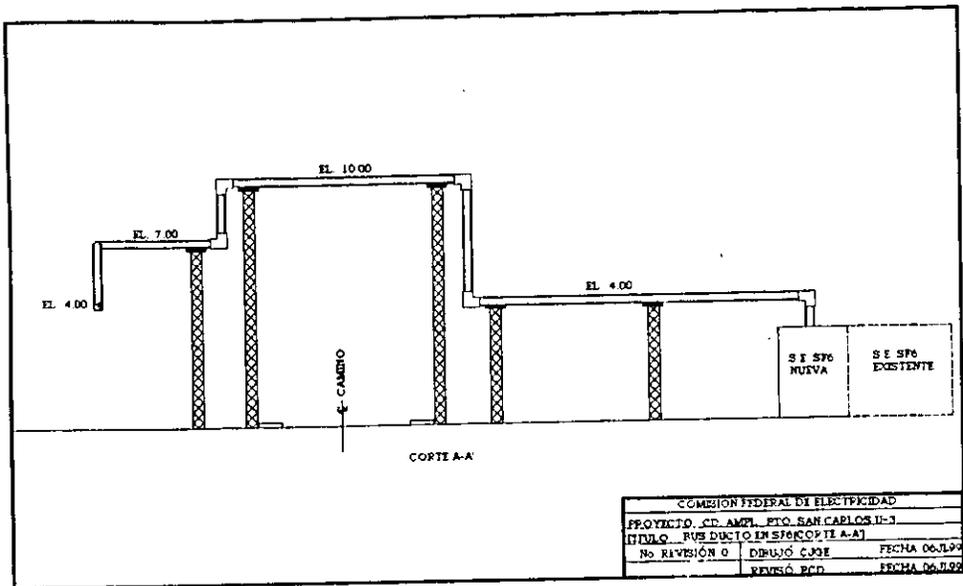


FIGURA: III.15.- CORTE A-A' DEL ARREGLO BUS DUCTO SUBESTACION ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

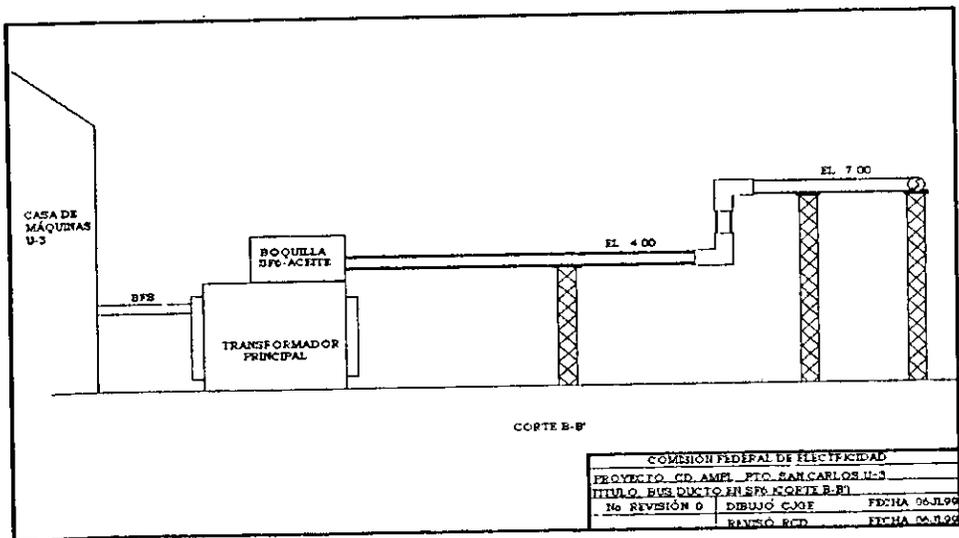


FIGURA: III.16.- CORTE B-B' DEL ARREGLO BUS DUCTO SUBESTACION ENCAPSULADA EN SF₆ 115 KV.

III.3.5.1. CONCLUSIÓN

De acuerdo al análisis anterior, se recomienda la alternativa 1, en esta alternativa se conectará el transformador principal de la unidad 3 con la nueva subestación encapsulada en SF₆, por medio de un bus aéreo con cable de aluminio ACSR.

Además para garantizar que el aislamiento externo de los equipos soporte mas tiempo en servicio, se adquirió el aislamiento externo de los equipos de la nueva subestación (boquillas del interruptor en SF₆, cadenas de aisladores, boquilla del transformador principal, etc.) con 5,6 cm/kV, que es superior a la de los equipos de la Subestación existente que es de 3,1 cm/kV. esto significa que el lavado de aisladores en vivo puede hacerse en períodos más largos, para esta sección.

III.4 PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ EN AMPLIACIÓN.

Se considerará en el suministro, la instalación y la puesta en servicio, todo lo relacionado a las señales de los transformadores de corriente para Protección Diferencial de Barras y las señales de los transformadores de corriente para la Protección 50 FI (Falla de Interruptor) del módulo adicional en SF₆, para su implementación en el esquema de protecciones (permisivos y bloqueos) de la subestación existente. Para el caso de la Protección Diferencial de Barras se suministrarán Transductores iguales ó similares a los existentes, no es necesario el suministro del relevador 87 B. Para el caso de la protección por Falla de Interruptor, se suministrarán los relevadores 50 FI'S.

III.4.1. PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE BARRAS (87B)

Para el caso de la Protección Diferencial de Barras se suministrarán los Transductores de la misma marca y características de los existentes; Cabe hacer mención que no se requiere el suministro del relevador de Protección Diferencial 87 B. Los relevadores auxiliares pueden ser de otra marca, pero de características iguales ó similares a los existentes.

Protección Diferencial existente	Marca:	Toshiba
	Tipo:	BB3W
	Forma:	TU5S
	Caja:	Tipo W

Transductor existente	Marca:	Toshiba
	Tipo:	ATT4W
	Forma:	CV21
	Caja:	Tipo W

III.4.2. PROTECCIÓN POR FALLA DE INTERRUPTOR (50 FI)

Para el caso de la protección por Falla de Interruptor, se suministrarán los relevadores 50 FI'S junto con los relevadores auxiliares. El relevador principal y los relevadores auxiliares pueden ser de otra marca, pero de características iguales ó similares a los existentes.

Relevador 50FI existente	Marca:	Toshiba
	Tipo:	TCO24B
	Forma:	TU1Q
	Caja:	Tipo B2

III.5. DE SUS COMPONENTES

III.5.1. EQUIPOS EN GAS SF₆

III.5.1.1. Cuchillas Desconectadoras

Las cuchillas estarán provistas con indicadores de posición y contactos auxiliares para bloqueo y señalización local, remota y conexión de bloqueos, así como una ventanilla en la envolvente de la cuchilla para ver la posición de la cuchilla si está abierta o cerrada.

III.5.1.2 Cuchillas de Puesta a Tierra

Las cuchillas de acometida de transformadores principales y salida de línea serán de operación rápida y con bloqueo mecánico

III.5.1.3 Interruptor

El interruptor estará integrado por tres polos monofásicos, con mecanismo de operación trifásico asociado para la apertura o cierre de los tres polos.

La presión del gas SF₆ dentro del interruptor deberá oscilar entre 7 y 7.7 bar máximos según la red en que será instalado, siempre a 20°C como temperatura de referencia. La presión nominal del gas SF₆ en el resto de toda la envolvente de la subestación no superará los 5 bar de presión máxima.

La densidad del gas en el interruptor será supervisada por un detector de presión y debe estar separado del resto de los demás componentes por medio de aisladores.

III.5.1.4. Transformadores de Corriente

Serán del tipo toroide e irán montados en un tubo de aluminio, e inmersos en el gas SF₆. Además deben cumplirán con el nivel de aislamiento y clase de precisión.

III.5.1.5. Boquillas SF₆-Aire

Se proporcionarán la cantidad de boquillas necesarias de este tipo para toda la subestación.

III.5.1.6. Gabinete de Control Local

Las alarmas, señalización y supervisión del gas SF₆ así como el control de mando e indicación por alimentador y otras alarmas, estarán contenidas en el gabinete de control local. Además tendrán previstas tabilllas para conectar la subestación al cuarto de control de planta a través de un selector "Local-Remoto".

III.5.2. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL EQUIPO

Distancias Mínimas de Diseño para el Equipo Convencional y marco de remate

1)	Separación entre fases	3.0 m
2)	Separación entre fases extrema y estructura	2.5 m
3)	Altura a partes vivas de equipo	2.5 m + altura del equipo
4)	Altura de estructura de	11.0 m

	remate de líneas	
5)	Altura de capitel	3.0 m
6)	Altura de bayoneta	1.0 m
7)	Altura de mínima de seguridad	2.3 m
	para el personal	

III.6 TRABAJOS QUE SE CONTEMPLARON PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTA SUBESTACIÓN EN AMPLIACIÓN.

- A) Previsión para que la Subestación existente pudiera ampliarse.
- B) Al no haber nueva línea de transmisión se estaba obligado a usar el mismo arreglo de la Subestación encapsulada existente (barra principal con barra de transferencia con interruptor comodín).

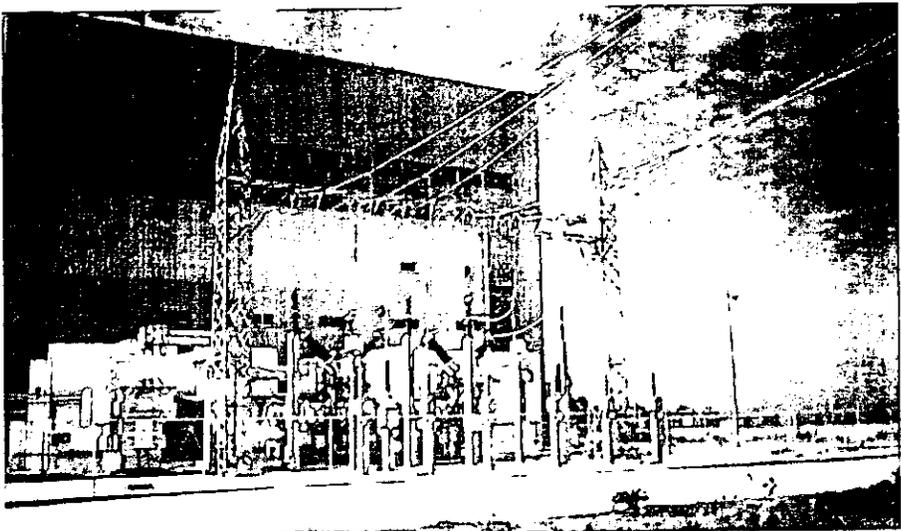


FIGURA: III.17.- SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ EXISTENTE EN LA C.D. PUERTO SAN CARLOS.

- C) Forma de conectar el Transformador principal de la Unidad 3 con el módulo adicional en SF₆, 115 kV (este módulo se instalará junto a la Subestación existente).

III.7 PROCEDIMIENTOS, ESPECIFICACIONES Y NORMAS APLICABLES.

Los equipos, sistemas e instalaciones, deberán diseñarse de acuerdo a la última edición de las siguientes Normas y Códigos al presentar las propuestas. Solo se indican las secciones principales, pero no se limitan las demás secciones aplicables a la Central y en su última edición. En el caso que la Sociedad pretenda seguir otros Códigos y Normas diferentes a los indicados en esta sección deberá indicar claramente en su propuesta su equivalencia.

III.7.1 Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)

- (American Society of Mechanical Engineers ASME Boiler and Pressure Vessel Code).
- ASME PTC-4.4: Códigos de Pruebas para Generadores de Vapor-Recuperador de Calor
- ASME PTC-17: Máquinas Recíprocas de Combustión Interna
- ASME PTC-26: Sistema de Gobierno de Velocidad en Unidades Moto-generadores de Combustión Interna.
- ASME PTC-19.1: Incertidumbre de Medición en Instrumentos y Aparatos.
- ASME PTC-19.5 Interim Supplement on Instruments and Apparatus
- ASME B31.1 Power Piping.

III.7.2 Instituto Nacional de Estándares Americanos. American National Standards Institute (ANSI)

- American National Standards for Piping, Pipe Flanges, Fittings and Valves.

ANSI 9,11 : Load Rating and Fatigue Life for Bearings

ANSI B serie 18: Square Hex Bolts and Screws Inch series including Hexcap screws and Lag screws

ANSI C2 serie C37: National Electrical Safety Code Circuit Breakers, Protection and Protective relays.

ANSI C5 serie 12 : Requirements for transformers 230 kV.

ANSI serie C39.2: Direct Acting Electrical Recording Instruments Transformers.

ANSI serie C56 Synchronous Generators.

ANSI serie C57: Transmition, Distribution, Power and Instrument

ANSI serie C62: Surge arresters.

ANSI serie C84.1 Electric Power Systems and Equipment Voltage ratings 60 Hz.

ANSI serie C93 : Requirements for Power-Line Carrier Coupling Capacitors and Coupling Capacitors Voltaje Transformers.

ANSI/NEMA MG-1:Motors and Generators.

ANSI/IEEE 21: Requirements and Test Code for Outdoor Apparatus Bushings.

ANSI/IEEE 24: Performance Characteristics and Dimensions for Outdoor Apparatus Bushings.

ANSI/IEEE serie 421: Definitions and Tests for Excitations systems for Synchronous Machines.

ANSI/IEEE serie 421.1: Identification, testing and evaluation of the dynamic performance of excitation control systems.

ANSI serie MC 96 : Temperature Measurement Thermocouples

ANSI serie Z55 : Gray Finishes for Industrial Apparatus and Equipment.

III.7.3. Otros Códigos Americanos

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

- American Concrete Institute (ACI)
- American Gear Manufacturers Association (AGMA)
- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- Air Moving and Conditioning Association (AMCA)
- American Petroleum Institute (API)
- American Railway Engineering Association (AREA) Manual for Railway Engineering, Volumes I and II.
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)
- American Water Works Association (AWWA)
- American Welding Society (AWS) Structural Welding Code (AWS D1.1)
- Antifriction Bearing Manufacturers Association (AFBMA)
- Asphalt Institute Manuals-Reference Document Only
- Crane Manufacturers Association of America (CMAA)
- Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA)
- Cooling Tower Institute (CTI)
- Electronic Industries Association (EIA)
- Expansion Joint Manufacturers Association (EJMA)
- Factory Manual (FM)
- Flow Control Institute (FCI).
- Fluid Sealing Association (FSA)
- Heat Exchange Institute (HEI)
- Hydraulic Institute (HI)
- Illuminating Engineering Society (IES)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- Insulated Cable Engineers Association (ICEA)-if not covered by the National Electrical Code (NEC)
- Instrument Society of America (ISA)
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

- Manufacturers Standardization Society (MSS) - National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- National Fire Protection Association (NFPA)- National Fire Codes
- Pipe Fabrication Institute (PFI) Standars
- Rubber Manufacturers Association (RMA)
- Scientific Apparatus Manufacturers Association (SAMA)
- Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association (SMACCNA)
- Thermal Insulation Manufacturers Association (TIMA)
- Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA)
- Underwriters Laboratories, Inc. (UL) for Equipment and Hardware only

III.7.4. Leyes, Reglamentos, Criterios, Normas y Códigos Mexicanos

- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y Reglamentos en Materia de Impacto Ambiental, Residuos Peligrosos, Prevención y Control de la contaminación, Atmósfera, Aguas y Ruido
- Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-001-ECOL/1993
- Criterios Ecológicos en Calidad del Agua CE-CCA-001.
- Criterios Ecológicos para la Selección y Preparación de Sitios Destinados a la Instalación de Centrales Termoeléctricas Convencionales, así como la Construcción y Operación de estos Sistemas CE-OESE-002.
- Criterios Ecológicos que Determinan las Especies Raras, Amenazadas, en Peligro de Extinción o sujetas a Protección Especial y sus Endemismos, de la Flora y Fauna Terrestre y Acuáticas en la República Mexicana.- NOM-059-ECOL-1994.
- Acuerdo que establece los Lineamientos para Determinar el Criterio que Servirá de Base para Evaluar la Calidad del Aire en un Determinado Momento. Diario Oficial, Pag. 84, Secretaría de Salubridad y Asistencia, 29NO82.

- Ley Forestal.
- Ley Federal de Derechos en Materia de Agua
- Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
- Relación de Normas y Proyectos de Normas

El reglamento de la protección al ambiente contra la contaminación originada por las emisiones de ruido

- CFE Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión secciones C.1.2, C.1.3 y C.1.4
- CFE-D8500-01,02 y 03 Recubrimientos anticorrosivos y pinturas para Centrales Generadoras.
- NOM -011-STPS-1993 Relativa a las Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se genere ruido.
- Instructivo II de la Comisión Nacional de Seguridad e Higiene de la CFE

Norma Oficial Mexicana NOM-023 SSA1-1993
 Norma Oficial Mexicana NOM-080-STPS-1993
 Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-1993
 Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001 a 003-ECOL/1993
 NOM - 043 -ECOL - 1993
 NOM - 080 - ECOL - 1994
 NOM - 081 - ECOL - 1994
 NOM - 025 - SSA1 - 1993

III.7.5. Otras Normas Aplicables:

NOM-001-SEMP- Instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía eléctrica

NOM-008-SCFI- Sistema general de unidades de medida.

ISO-9000 International Organization for Standarization.

NMX	Normas Mexicanas
NMX-CC-1	(Equiv.ISO-8402) Sistemas de Calidad-Vocabulario
NMX-CC-3	(Equiv. a la ISO-9001): Sistema de Calidad-Modelo para el Aseguramiento de la Calidad Aplicable al Proyecto/Diseño, la Fabricación, la Instalación y el Servicio.
NMX-CC-4	(Equiv. a la ISO-9002): Sistemas de Calidad-Modelo para el Aseguramiento de Calidad aplicable a la Fabricación e Instalación.
NMX-CC-6	(Equiv. a la ISO-9004): Sistema de Calidad-Gestión de la Calidad y Elementos de un Sistema de Calidad, Directrices Generales.
NMX-CC-7	Sistema de Calidad- Auditorías de Calidad.
NMX-CC-8	Sistemas de Calidad-Calificación y Certificación de Auditores.
NOM serie B:	Métodos de pruebas mecánicas para productos de acero estructural de alta resistencia.
NOM serie EE:	Carretes de madera para conductores eléctricos y telefónicos
NOM serie 1-7 a 1-63	Equipos y componentes electrónicos, métodos de prueba para fuentes de alimentación utilizadas en telefonía, cargadores de baterías para uso industrial y de telecomunicaciones. Métodos de prueba ambientales y de durabilidad
NOM serie J:	Motores de inducción, transformadores de corriente, transformadores de potencia, productos eléctricos conductores, técnicas de prueba en alta tensión, cordones desnudos flexibles de cobre para usos eléctricos y electrónicos. Método de prueba de aislamiento.
NOM serie W:	Clasificación de cobre
NOM serie Z:	Muestreo para inspección por atributos

NMX serie J:	Productos eléctricos, motores de inducción, transformadores de corriente, de potencial, transformadores y autotransformadores de distribución y potencia. Conectores de cobre, clasificación de materiales aislantes.
ISO-9000-3	Quality Management and Quality Assurance Standards-Part 3. Guide Lines for the Application of ISO 9001 to the Development Supply and Maintenance of Software
ISO-10012-1	Quality Assurance Requirements for Measuring-Equipment-Part 1: Metrological Confirmation System for Measuring Equipment.
ISO/DIS 9004-5	Quality management and Quality System elements
ISO 9000-4	Quality management and Quality assurance standards.
Leyes, reglamentos y normas estatales a que haya lugar	

III.7.6 Manuales de la Comisión

- Manual de Diseño de Obras Civiles, secciones C.1.2 y C.1.3 Diseño por Sismo y C.1.4 Diseño por Viento.

CAPITULO IV

**REPORTE DE PRUEBAS A LA SUBESTACIÓN
ENCAPSULADA EN SF₆**

IV.1 Pruebas de Prototipo

El fabricante, debe efectuar y aprobar las pruebas prototipo de la subestación de acuerdo a lo indicado en la norma IEC-517. Opcionalmente, previo acuerdo con el LAPEM (Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales) de Comisión, se podrán aceptar reportes de pruebas prototipo y sus certificados si éstos han sido realizados en un laboratorio de pruebas reconocido por el LAPEM y si son similares a los solicitados por Comisión.

El propósito de las pruebas de prototipo es el de verificar las características de diseño del equipo de la subestación y deben efectuarse en conjuntos o ensambles parciales de la subestación que integren una bahía típica o parte de la misma.

El fabricante debe efectuar y aprobar todas las pruebas prototipo de cada uno de los componentes o subensambles individuales que contendrá la Subestación en SF₆ en ampliación especificada por Comisión. El LAPEM podrá aceptar reportes de pruebas, si éstas han sido realizadas en laboratorio reconocido por Comisión. Tales componentes son los siguientes:

- 1.- Interruptor de potencia.
- 2.- Cuchillas.
 - a) desconectadoras,
 - b) de puesta a tierra de cierre lento.
 - c) de puesta a tierra de cierre rápido.

- 3.- Boquillas.
- 4.- Gas SF₆.
- 5.- Motores.
- 6.- Buses de fase no segregada.
- 7.- Accesorios.
- 8.- Apartarrayos.
- 9.- Transformador Principal.

Además de cualquier otro componente que intervenga dentro de la operación de la subestación como parte activa del funcionamiento y que pueda provocar un deterioro en la confiabilidad.

Los manuales técnicos de la Subestación por parte del Consorcio deben cumplir con lo establecido en la especificación: CFE L0000-32 (Manuales técnicos), debiendo ser incluido uno de estos manuales con los reportes de las pruebas de prototipo para su revisión.

IV.2 Inspección y Pruebas de Aceptación en Fábrica

Estas pruebas se deben efectuar en presencia de un inspector del LAPEM o por un representante que éste designe. Es requisito para iniciar las pruebas de rutina en fábrica, el que todos los planos de la subestación haya sido previamente aprobados por la jefatura de proyectos correspondiente, así como los cambios de orden si es que estos existieran.

El inspector designado por Comisión debe verificar que se hayan efectuado pruebas de aceptación a suministros adquiridos a terceros por la compañía a la que se le fincó el pedido de la subestación, además debe integrar al reporte estas pruebas, en el reporte de las pruebas que atestigüe.

IV.3 Pruebas de Rutina

El fabricante debe efectuar y aprobar las pruebas de rutina de acuerdo a lo indicado en la norma IEC-517 y deben efectuarse con los valores y métodos indicados en dicha norma. Las pruebas deben realizarse en fábrica a la subestación completa o en subensambles parciales de la misma según resulte más práctico.

IV.4 PRUEBAS DE FÁBRICA DEL INTERRUPTOR DE POTENCIA.

Nº	PRUEBA	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	NORMA VIGOF	
1	Prueba de tensión a frecuencia industrial en el circuito principal	- Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP)	IEC 69:	
		- Tensión de prueba: como el cuadro siguiente		
		Tensión asignada Un (Valor rms) (kV)		Tensión de prueba (Valor rms) (kV)
		72.5		140
		100		185
		123		230
		145	275	
		- Circuito Principal: abierto y cerrado		
		- Frecuencia: 60 Hz.		
		- Duración: 1 minuto.		
2	Medición de descargas parciales	- Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP)	IEC 51:	
		- Tensión de prueba: $1.1 \times U_n / \sqrt{3}$		
		- Circuito Principal: abierto y cerrado		
		- Frecuencia: 60 Hz.		

3	Prueba dieléctrica en los circuitos auxiliar y de control	- Tensión de prueba: 2000 Voltios - Circuito Principal: abierto y cerrado - Frecuencia: 60 Hz.	IEC 694		
4	Medición de resistencia del circuito principal	- Circuito Principal: Cerrado	IEC 694 IEC 517		
5	Prueba de fugas de gas	- Medición de fugas mediante detector de fugas o dispositivo de medición.	IEC 517		
6	Prueba de funcionamiento mecánico	- Densidad del gas abierto y cerrado - Nº de operaciones: como el cuadro siguiente	IEC 56		
		operación o ciclo de operación		Tensión de control y presión de funcionamiento	Número de operaciones
		Cierre		Máximos	5
		Apertura		Máximos	5
		Cierre		Mínimo	5
		Apertura		Mínimo	5
		Cierre- Apertura		Asignado	5
Apertura-Cierre (Únicamente para los interruptores destinados a un recierre automático rápido)	Asignado	5			
7	Prueba de dispositivos eléctricos e hidráulicos	Las pruebas consisten en una verificación del funcionamiento del bloqueo eléctrico y de otros bloqueos junto con los dispositivos de control	IEC 56 IEC 517		
8	Verificación del cableado	Verificación de la conformidad de los circuitos eléctricos en el diagrama de cableado	IEC 56 IEC 517		

IV.5 PRUEBAS DE FÁBRICA DE LAS CUCHILLAS CON CARGA.

Nº	PRUEBA	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA		NORMA EN VIGOR
1	Prueba de tensión a frecuencia industrial en el circuito principal	- Densidad del gas:	segundo nivel de alarma (BP)	IEC 265
		- Tensión de prueba:	ver cuadro I.1.1.	
		- Circuito Principal:	abierto y cerrado	
		- Frecuencia:	60 Hz.	IEC 694
		- Duración:	1 minuto	IEC 517
2	Medición de descargas parciales	- Densidad del gas:	segundo nivel de alarma (BP)	
		- Tensión de prueba:	$1.1 \times U_n / \sqrt{3}$	
		- Circuito Principal:	abierto y cerrado	
		- Frecuencia:	60 Hz.	
3	Prueba dieléctrica en el circuito auxiliar	- Tensión de prueba:	2000 Voltios	IEC 265
		- Frecuencia:	60 Hz	
		- Duración:	1 minuto	IEC 694
4	Medición de resistencia del circuito principal	- Circuito Principal:	Cerrado	IEC 265
5	Prueba de fugas de gas	- Medición de fugas mediante detector de fugas o dispositivo de medición.		IEC 517
6	Prueba de funcionamiento mecánico	- Densidad del gas:	densidad asignada	IEC 265
		- N° de ciclos de funcionamiento:	como el cuadro siguiente	
		Tensión de alimentación	Número de ciclos de funcionamiento	
		Máximo	10	
		Mínimo	10	
	Asignado	50		

IV.6 PRUEBAS DE FÁBRICA DE LAS CUCHILLAS DE PUESTA A TIERRA.

Nº	PRUEBA	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	NORMA EN VIGOR	OBSERVACIONES
1	Prueba de tensión a frecuencia industrial en el circuito principal	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP) - Tensión de prueba: ver cuadro I.1.1. - Circuito Principal: abierto y cerrado - Frecuencia: 60 Hz. - Duración: 1 minuto 	IEC 129 IEC 694	Seccionador de puesta a tierra en posición abierta
2	Medición de descargas parciales	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP) - Tensión de prueba: $1.1 \times U_n / \sqrt{3}$ - Circuito Principal: abierto y cerrado - Frecuencia: 60 Hz. 	IEC 517	Seccionador de puesta a tierra en posición abierta
3	Prueba dieléctrica en el circuito auxiliar	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión de prueba: 2000 Voltios - Frecuencia: 60 Hz - Duración: 1 minuto ó 1 segundo 	IEC 129 IEC 694	
4	Medición de resistencia del circuito principal	<ul style="list-style-type: none"> - Circuito Principal: Cerrado 	IEC 129 IEC 694	
5	Prueba de fugas de gas	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de fugas mediante detector de fugas o dispositivo de medición. 	IEC 517	
6	Prueba de funcionamiento mecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad del gas: densidad - Nº de ciclos de funcionamiento: como el cuadro siguiente 	IEC 129	
		Tensión de alimentación	Número de ciclos de funcionamiento	
		Máximo	10	
		Mínimo	10	
		Asignado	50	

IV.7 PRUEBAS DE FÁBRICA DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Nº	PRUEBA	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	NORMA EN VIGOR
1	Verificación de las marcas de los terminales	Cerciorarse de que las marcas de los terminales permitan identificar correctamente <ul style="list-style-type: none"> - Las polaridades relativas de los devanados secundarios. - Las tomas intermedias, si las hubiere. 	IEC 185
2	Medición de descargas parciales	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP) - Tensión de prueba: $1.1 \times U_n/\sqrt{3}$ - Frecuencia: 60 Hz. 	IEC 517 IEC 185
3	Tensión de ensayo a frecuencia industrial en los devanados secundarios	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión de prueba: $1.1 \times U_n/\sqrt{3}$ - Frecuencia: 60 Hz. - Duración: 1 minuto 	IEC 185
4	Prueba de fugas de gas	- Medición de fugas de gas mediante detector de fugas o dispositivo de medición.	IEC 517
5	Ensayo de sobretensión	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe efectuar de conformidad con el procedimiento B a saber: <p>Con el devanado primario a circuito abierto, se aplicará una sobretensión durante 1 minuto a los terminales correspondientes a los devanados secundarios.</p> <p>La tensión deberá ser tal que produzca una corriente secundaria de valor rms igual a la corriente secundaria asignada (o a la corriente extendida asignada cuando fuere pertinente).</p> <p>En ningún caso la sobretensión en las espiras que pese a través del devanado secundario completo debe exceder un pico de 4,5 kilovoltios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: no debe exceder 5 veces la frecuencia asignada. 	IEC 185
6	Determinación de errores	<p>Como para las recomendaciones de la publicación de la 185 de la CEI y tomando en consideración la posibilidad ofrecida por esta norma:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Para realizar pruebas de rutina en un número reducido de corriente y/o cargas. -Para reemplazar algunas pruebas directas por pruebas indirectas. 	IEC 185

IV.8 PRUEBAS DE FÁBRICA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.

Nº	PRUEBA	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	NORMA EN VIGOR
1	Verificación de las marcas de los terminales	<p>Cerciorarse de que las marcas de los terminales permitan identificar correctamente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las polaridades relativas de los devanados secundarios. - Las tomas intermedias, si las hubiere. 	IEC 186
2	Tensión de ensayo a frecuencia industrial en los devanados secundarios	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión de prueba: 3000 voltios(rms) - Frecuencia: 60 Hz. - Duración: 1 minuto 	IEC 186
3	Tensión de ensayo a frecuencia industrial en el devanado primario	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP) - Tensión de prueba: ver cuadro del Inter.1.1. - La prueba se efectuará mediante excitación directa del devanado primario. - Se aumenta la frecuencia de la tensión de prueba por sobre el valor asignado. - Duración: (2x60(Hz) / Frecuencia de prueba con un mínimo de 15s) x 60s. 	IEC 186
4	Medición de descargas parciales	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP) - Tensión de prueba: $1.1 \times U_n / \sqrt{3}$ - Frecuencia: 60 Hz. 	IEC 186
5	Determinación de errores	De conformidad con las recomendaciones 186 de la CEI y teniendo en consideración con la conformidad ofrecida por esta norma para realizar las pruebas de rutina en un reducido número de tensiones y/o cargas.	IEC 186
6	Prueba de fugas de gas	<ul style="list-style-type: none"> - Medición de fugas de gas mediante detector de fugas o dispositivo de medición. 	IEC 517

**IV.9 PRUEBAS DE FÁBRICA DE LA CAJA DE CONEXIÓN DE CABLE -
JUEGO DE BARRAS.**

Nº	PRUEBA	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	NORMA EN VIGOR	OBSERVACIONES
1	Prueba de tensión a frecuencia industrial en el circuito principal	Cerciorarse de que las marcas de las terminales permitan identificar correctamente: - Las polaridades relativas de los devanados secundarios. - Las tomas intermedias, si las hubiere.	IEC 186	
2	Medición de descargas parciales	- Densidad del gas: segundo nivel de alarma (BP) - Tensión de prueba: $1.1 \times U_n / \sqrt{3}$ - Circuito Principal: abierto y cerrado - Frecuencia: 60 Hz.	IEC 137 IEC 517	
3	Medición de la resistencia del circuito principal		IEC 517	Como los aisladores pasantes aire/SF ₆ son expedidos en piezas, esta medición se efectúa después de su montaje en situ.
4	Prueba de fugas de gas	- Medición de fugas de gas mediante detector de fugas o dispositivo de medición.	IEC 517 IEC 137	

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

V.1. DESARROLLO

V.1.1. INSTRUCCIONES PARA LOS LICITANTES

El procedimiento de la Licitación Pública Internacional Núm. 18164081 016 97 (la "Licitación") fue anunciada mediante la convocatoria publicada el 23 de diciembre de 1997 (la "Convocatoria") en el Diario Oficial de la Federación. El proceso de licitación se regirá por: el artículo 134 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas, en los aspectos adjetivos del proceso de licitación; la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en cuanto a la capacidad de la Comisión Federal de Electricidad (la "Comisión"); la Ley General de Títulos y Operaciones de Crédito, como principal ley que regula el contrato de fideicomiso en México; el artículo 30 de la Ley de Presupuesto, Contabilidad y Gasto Público Federal; el artículo 18 de la Ley General de Deuda Pública; y los tratados internacionales suscritos por México, incluyendo el Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

V.1.2. OBJETO

El objeto del presente procedimiento es la celebración de un contrato de fideicomiso irrevocable de administración y traslado de dominio, en virtud del cual una sociedad de propósito específico a ser constituida por el licitante ganador, la "Sociedad" se obligará, como fideicomitente, a construir en beneficio del fideicomiso creado en virtud del Contrato (el "Fideicomiso"): (a) una central de generación de energía eléctrica con una capacidad neta de $39,3 \pm 5\%$ MW para el sitio San Carlos (para dar la potencia neta requerida de $39,3 \pm 5\%$ MW) con base de una, dos, tres ó máximo cuatro unidades con motor diesel para un sitio de temperatura de Bulbo Seco 36°C y humedad relativa de 70% (las "Condiciones de Verano"), operando con una mezcla Combustóleo-Diesel como combustible base; y con diesel como combustible de respaldo; (b) un tanque de almacenamiento de

15 000 m³ contenido en un dique con sistemas de seguridad; (c) **una Subestación tipo encapsulada SF₆**. Una vez construida la Central se le dará la posesión y el derecho a explotar la misma a la Comisión, en su carácter de Fideicomisaria, por un período de 10 años, durante el cual la Comisión realizará pagos trimestrales en favor de la Sociedad (los "Pagos Trimestrales"). Una vez concluido dicho período de 10 años, y contra la realización de los dos últimos Pagos Trimestrales, la propiedad de la Central será transmitida a la Comisión en los términos del Contrato. El monto de los Pagos Trimestrales a ser hechos por la Comisión bajo el Contrato será determinado por la propuesta ganadora en la presente Licitación.

En los términos del Contrato, la Sociedad: (a) realizará todos los actos necesarios para que la Central se construya y opere conforme a los valores garantizados las Bases de Licitación, durante el primer año de Operación Comercial de la Central (la Garantía de la Central) y (b) entregará a la Comisión las partes de repuesto y herramientas especiales según se indica en las Bases de Licitación (las "Partes de Repuesto" y "Herramientas Especiales", respectivamente).

Toda persona o grupo de personas que conforme a lo anterior presente una Propuesta (el "Licitante") será responsable de que la misma cumpla con todos los requisitos solicitados en estas Bases de Licitación. La falta de presentación de cualquier parte de la información requerida, o la presentación de una Propuesta que no responda a los requisitos solicitados, será causa de desechamiento. Ninguna persona podrá integrar o formar parte de más de un Licitante, ni servir para satisfacer los requisitos técnicos o financieros de más de un Licitante.

Con la presentación de su Propuesta, el Licitante confirma que el alcance de suministro incluido en la misma cumple completamente y sin omisiones con las especificaciones técnicas de la Comisión y que su Central no excluye equipo o suministro alguno que impida su funcionamiento cabal, en acuerdo con el espíritu

e intención de las Bases de Licitación. Asimismo, el Licitante acepta que en caso de existir alguna deficiencia, olvido, error o falta de claridad en su Propuesta, ya sea en aspectos técnicos, comerciales, legales y/o financieros, prevalecerá lo indicado en las Bases de Licitación. Las Propuestas que contengan o estén sujetas a condiciones, sean expresas o implícitas, serán desechadas. Por otra parte, se tendrán por no puestas cualesquiera aclaraciones, sugerencias o consideraciones incluidas en las Propuestas en relación con los documentos de las Bases de Licitación. Ninguno de los requisitos de estas Bases de Licitación ni de los términos de las Propuestas podrá ser negociado.

V.1.3 EVENTOS PRINCIPALES

EVENTO	FECHA
Publicación de la Convocatoria	23 de diciembre 1997
Primera junta de aclaraciones	09 de enero 1998
Visita al Sitio	15 de enero 1998
Junta de aclaraciones	03 de febrero 1998
2 ^{da} Junta de aclaraciones	03 de marzo 1998
Bases de Licitación y Contrato revisado	23 de marzo 1998

Recepción de propuestas y apertura de propuestas técnicas	27 de mayo de 1998
Dictamen técnico y apertura de propuestas económicas	18 de junio de 1998
Fallo	03 de julio de 1998
Firma Contrato	14 de septiembre de 1998
Fecha de inicio	15 de febrero de 1999
Fecha inicio operación comercial	14 de noviembre de 2000

V.2. COSTOS.

V.2.1. CÁLCULO PARA DETERMINAR EL PRECIO DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF₆ (LA BAHÍA ADICIONAL PARA LA AMPLIACIÓN DE LA CENTRAL DIESEL PUERTO SAN CARLOS).

V.2.1.1. ALCANCE DE SUMINISTRO

- 1 Bahía con arreglo de bus principal y bus de transferencia para salida a transformador compuesta por lo siguiente:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO EN YEN JAPONES
1	Interruptor de potencia	
2	Juegos de cuchillas para buses	
1	Juego de cuchillas para alimentador	
3	Juegos de cuchillas de puesta a tierra	
3	Transformadores de corriente	
1	Cubículo de control	
1	Juego de buses de conexión (envolvente trifásica)	
	Subtotal 1	29'550,000.00

**(Veintinueve Millones Quinientos Cincuenta mil
Yenes Japoneses)**

Además se requiere lo siguiente:

		PRECIO EN YEN JAPONES
1	Supervisor montaje y pruebas en sitio (15 días)	1 500 000,00
1	Lote partes de repuesto especificados por CFE	2 361 000,00
1	Lote de herramientas y equipo especiales especificados por CFE	9 390 000,00

1	Lote de partes de repuesto recomendados por el fabricante	1 149 000,00
1	Lote de herramientas recomendado por el fabricante	1 302 000,00
1	Lote de equipo de prueba recomendado por fabricante	2 260 000,00
1	Tablero simplex para medición y protección del transformador principal	8 303 600,00
1	Lote de equipo de prueba para tablero recomendado por fabricante	2 800 000,00
1	Lote de herramientas para tableros recomendadas por el fabricante	500 000,00
1	Lote de partes de repuesto para tableros de control recomendados por fabricante	250 000,00
	Subtotal 2	29 815 600,00
	Total (Subtotal 1 + Subtotal 2)	59 365 300,00

(Cincuenta y Nueve Millones Trescientos Sesenta y Cinco Mil Trescientos Yenes Japoneses)

Los precios anteriores son de 1988 y se obtuvieron del pedido otorgado a Mitsui Co. & Ltd. para la adquisición de la Subestación Encapsulada en SF₆ para la Central Diesel Pto. San Carlos (Agustín Olachea Avilés), Unidades 1 y 2 de 32,5 MW.

Para la actualización del precio del año 1988 a 1997 se toman los siguientes índices de inflación ocurridos en Japón en este período.

AÑO	IPC
89	1.0223
90	1.0235

91	1.0248
92	1.0193
93	1.0272
94	1.0037
95	1.0000
96	1.0045
97	1.0045

Para actualizar el precio se aplica la siguiente fórmula.

$$F = P(1+i)^n$$

F = Precio actual

P = Precio Anterior

i = Índice de precio

n = Número de eventos

Precio de la Subestación en 1988 = Ψ59 365 300,00

Aplicando el índice inflación de precios de 1988 a 1997 = 1,137

Precio de la Subestación en 1997 = Ψ 59 365 300,00x 1.137

En Yenes Japoneses = Ψ 67 498 346,00

Precio de la Subestación en 1997 pero en Dólares Americanos

Si 1Ψ = 0,0611 Pesos M.N.

1USD = 7,90 Pesos M.N.

$$\Rightarrow \frac{\Psi 67 498 346,00 \times 0,0611 \text{ Pesos M.N.} / \Psi}{7.90 \text{ Pesos M.N.} / \text{USD Dólar}} = 522 044,20 \text{ USD}$$

(Quinientos Veintidós Mil Cuarenta y Cuatro 20/100 Dólares Americanos)

V.3. CONDICIONES COMERCIALES QUE SE DIERON.

La Central Diesel Pto. San Carlos (Agustín Olachea Avilés) es del tipo "Llave en Mano", la cual se define de la siguiente manera:

V.3.1. CENTRAL LLAVE EN MANO

Modalidad de adquisición de una Central Termoeléctrica, a través de la participación de un Consorcio ó Contratista, en donde a partir de los documentos del Contrato correspondiente, el Consorcio o Contratista es el único responsable de la ingeniería básica complementaria y de detalle, la fabricación y suministro de equipos y materiales, la construcción y montajes, las pruebas y puesta en servicio, para entregar la central completa y operando, una vez que se den por cumplidas las pruebas de desempeño.

Aún sabiendo que no se tienen precio desglosados de los equipos para ésta nueva central se tomaron como referencia el pedido otorgado a Mitsui Co. en 1988 para la adquisición de la Subestación Encapsulada en SF₆ para la Central Diesel Pto. San Carlos (Agustín Olachea Avilés), Unidades 1 y 2 de 32,5 MW.

V.4. PRECIO DE PUESTA EN SERVICIO DE LA SUBESTACIÓN EN AMPLIACIÓN.

El precio del lote entrenamiento para montaje y puesta en servicio durante 15 días la cantidad de 1 250 000,00 Yenes japoneses.

Aplicando el índice inflación de precios de 1988 a 1997 = 1,137

Precio de la Puesta en servicio en 1997 = Ψ 1 250 000,00 x 1.137

En Yenes Japoneses = Ψ 1 421 250,00

Precio de la Subestación en 1997 pero en Dólares Americanos

Si $1\Psi = 0,0611$ Pesos M.N.

$1\text{USD} = 7,90$ Pesos M.N.

$$\Rightarrow \frac{\Psi 1\,421\,250,00 \times 0,0611 \text{ Pesos M.N./}\Psi}{7,90 \text{ Pesos M.N./ USD Dólar}} = 10\,992,20 \text{ USD}$$

(Diez Mil Novecientos Noventa y Dos 20/100 Dólares Americanos)

V.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS ALTERNATIVAS DE BUS AÉREO CON CABLE Y BUS DUCTO ENCAPSULADO EN SF₆:

V.5.1. COMPARACIÓN ECONÓMICA

	PRECIO EN US DÓLARES AÑO 1997	PRECIO EN PESOS M.N. AÑO 1997
ALTERNATIVA 1 BUS AÉREO CON CABLE DE ALUMINIO, 115 kV	\$ 10 776,68 USD (Diez Mil Setecientos Setenta y Seis 68/100 Dólares Americanos)	\$ 85 135,78 Pesos M.N. (Ochenta y cinco Mil Ciento Treinta y Cinco Pesos 78/100 M.N.)

<p>ALTERNATIVA 2 BUSCUCTO ENCAPSULADO EN SF₆, 115 kV</p>	<p>\$ 537 300,00 USD (Quinientos Treinta y Siete Mil Trescientos 00/100 Dólares Americanos)</p>	<p>\$ 4 244 670,00 (Cuatro Millones Doscientos Cuarenta y Cuatro Mil Seiscientos Setenta Pesos 00/100 M.N.)</p>
<p>BAHÍA ENCAPSULADA EN SF₆ QUE SE INSTALARÁ JUNTO A LA SUBESTACIÓN EXISTENTE, 115 kV</p>	<p>\$ 533 043,30 USD (Quinientos Treinta y Tres Mil Cuarenta y Tres 30/100 Dólares Americanos)</p>	<p>\$ 4 211 042,07 (Cuatro Millones Doscientos Once Mil Cuarenta y Dos Pesos 07/100 M.N.)</p>

V.5.2. CONCLUSIÓN

De acuerdo al análisis anterior, se recomienda la alternativa 1, en esta alternativa se conectará el transformador principal de la unidad 3 con la nueva subestación encapsulada en SF₆, por medio de un bus aéreo con cable de aluminio ACSR.

Se observa que los 100 metros de bus ducto trifásico cuestan aproximadamente lo mismo que la nueva bahía de la subestación encapsulada en SF₆.

Se llegó a ésta conclusión en virtud de que la alternativa 1 resulta más económica que la alternativa 2.

CONCLUSIONES

La selección de un arreglo de una Subestación depende del costo, la aplicación y el grado requerido de continuidad y confiabilidad.

Por tal motivo la Comisión Federal de Electricidad (CFE), procurando abastecer debidamente de energía eléctrica a la población ubicada en el noroeste del país, se dio a la tarea de ampliar la Central Diesel Puerto San Carlos.

En nuestro análisis estudiamos las diferentes opciones para interconectar la nueva Subestación con la Subestación existente, así como la interconexión entre la unidad adicional con la nueva Subestación encapsulada en SF₆.

Teniendo en cuenta el mejor arreglo y la mejor oferta económica y segura se llegó a la conclusión de seleccionar una Subestación encapsulada en SF₆ con arreglo de bus principal con barra de transferencia e interruptor de amarre, conectada a la Subestación existente por medio de un bus aéreo con cable de aluminio ACSR.

De esta manera se puede asegurar la operación de la nueva Subestación confiable y de manera continua garantizando el abastecimiento de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Comisión Federal de Electricidad
Manual de planta de la C.T. Pto. San Carlos.
C.F.E
- 2) Comisión Federal de Electricidad
Bases de Licitación N° 1816408101697 (1997)
C.F.E
- 3) Comisión Federal de Electricidad
Publicación por la Unidad de Comunicación Social de la C.T. Pto. San Carlos.
C.F.E
- 4) Comisión Federal de Electricidad
Especificación de Subestaciones encapsuladas (Vy200-40).
C.F.E
- 5) Abengoa S.A. (España)
Libro de Anteproyecto.
- 6) Norma IEC 517
Gas insulator Metal Enclosed Swithgear For Rated Voltaje 72,5 kV and Above.
- 7) Watt, John H.
Manual del montador Electricista.
Ed. Reverté
- 8) Enríquez Harper, Gilberto
Centrales Eléctricas (Tomo I).
Ed. Limusa

GLOSARIO

- Arco eléctrico.-** Efecto producido entre dos conductores separados al fallar el medio en el que se encuentran.
- CENACE.-** Centro Nacional para el Control de la Energía.
- Central generadora.-** Conjunto de obras civiles, eléctricas, instrumentación y control y mecánicas que están entrelazadas para generar energía eléctrica
- Combustión Interna.-** Proceso en el cual un combustible se transforma en energía para producir movimiento.
- Combustóleo.-** Combustible derivado del petróleo.
- Combustoleo-ducto.-** Tubería que se encarga de transportar el combustóleo
- Coordinación de aislamiento.-** Serie de estudios y procedimientos para tener protegidos adecuadamente los equipos contra fallas eléctricas.
- Corriente de Fuga.-** Es la corriente eléctrica que se presenta cuando falla el aislamiento entre fase y tierra.
- Corriente Dinámica.-** Se expresa en valor eficaz e incluye la componente de corriente directa de pico máximo. Es determinada por la envolvente de la onda de la corriente de prueba durante un periodo de por lo menos 10 ciclos que debe soportar el tablero.
- Densidad.-** Relación entre la masa de un cuerpo y la del agua que ocupa el mismo volumen.
- Descarga disruptiva.-** Arco eléctrico producido entre dos conductores debido a un deterioro del aislador que los separa.
- Descargas atmosféricas.-** Efecto eléctrico producido en la atmósfera cuando se

ioniza el aire y se produce una vía para el paso de una corriente eléctrica (conocido como rayo).

Diagrama

Unifilar.- Representación esquemática de un sistema eléctrico con una sola línea de conducción.

Dieléctricos.- Materiales que tienen la capacidad de oponerse al paso de la corriente eléctrica.

Diesel.- Combustible utilizado en máquinas de combustión Interna.

Efecto Corona.- Fenómeno producido en una línea de transmisión debido a la ionización del aire.

Energía.- Facultad que posee un cuerpo para realizar un trabajo.

Falla

monofásica.- Es la falla de corto-circuito de una sola fase.

Falla trifásica.- Es la falla de corto-circuito entre las tres fases.

Generador eléctrico.- Máquina síncrona que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

Hexafluoruro de

Azufre.- Nombre químico del gas SF₆.

Hilos de

guarda.- Dispositivo de protección eléctrica contra descargas atmosféricas en las líneas de transmisión.

Interruptor.- Dispositivo eléctrico que se encarga de abrir un circuito en caso de una falla en la línea.

Ley de ohm.- Relación que existe entre el voltaje, corriente y resistencia en un circuito eléctrico.

MW.- Megawatts (unidad de Potencia eléctrica).

MW/h.- Megawatts-hora (unidad de Potencia eléctrica por cada hora).

Polarización.- Efecto que se produce en un conductor eléctrico al adquirir electrones.

Potencia

eléctrica.- Es la velocidad con que se realiza trabajo eléctrico. Se dice que un trabajo se realiza a la velocidad de un vatio

	cuando se mantiene una intensidad constante del amperio a través de una resistencia aplicando una fem de un voltio.
PSIG.-	Unidades de presión (lb/in ² manométricas)
Relevador.-	Dispositivo eléctrico de protección contra fallas eléctricas.
Rigidez dieléctrica.-	Propiedad física de un dieléctrico para oponerse al paso de la corriente eléctrica.
Sistema eléctrico.-	Conjunto de dispositivos eléctricos
Solubilidad.-	Es la disposición mecánica entre las moléculas del gas, entre las del líquido.
Subestación.-	Conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten mantener o cambiar la características de energía eléctrica.
Transformador.-	Dispositivo eléctrico que tiene la capacidad de transferir, reducir y elevar el voltaje, corriente e impedancia.

ANEXO



TOSHIBA

取扱説明書 INSTRUCTIONS FOR

CURRENT DIFFERENTIAL RELAY

800
5 21 1 1

TBB3W-TU5 □

株式会社 **東芝**
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

品名記号 CODE C15E1111

MO

1/2/110081-0

C O N T E N T S

	Page
I. INTRODUCTION	1
II. RATINGS	2
III. OPERATION	3
IV. APPLICATION	11
V. EXTERNAL CONNECTION	14
VI. ADJUSTMENT AND TESTING	17
VII. MAINTENANCE	21

CURRENT DIFFERENTIAL RELAY

TBB3W - TU5

I. INTRODUCTION

The TBB3W is a current differential relay used for the protection of busbar systems.

This relay is used in combination with ATT4W input transducer, both units being mounted in a 700 mm-width standard relay case of the Type W4.

The features of this relay are as follows.

1. The TBB3W relay can detect internal faults with outgoing current in busbar systems.
This is important for the protection of busbar systems such as one and a half (1-1/2) circuit breaker systems or double-busbar with four-busbar systems.
2. The TBB3W and ATT4W can be disconnected from each other. This is convenient for composing a reliable multi-busbar protection system adaptable to the operation of line switches.
3. The TBB3W can be used in combination with CTs of different current ratio, since the ATT4W transducers are provided with current ratio matching taps.
4. These are special design features concerning the operating principle to prevent malfunctions caused by magnetic saturation of the CT due to the occurrence of fault conditions.

II. RATINGS

1. Standard ratings of the TBB3W relay are shown in Table 1.
2. Standard ratings of the ATT4W input transducer are shown in Table 2.

Table 1

Type	Form	Rated current	Frequency	Control voltage	Target	Weight
TBB3W	TU5G	Depend on ATT4W	60 Hz	+24/-24V dc (14/4.5W)	No	6 kg
	TU5S				Yes	

Table 2

Type	Form	Rated current	Frequency	Tap value	Burden	Weight
ATT4W	CV11	5 A	60 Hz	2-3-4-6A	3 VA	9.6 kg
				0.6-0.8-1.2-1.4A	12 VA	
		1 A		0.4-0.6-0.8-1.2A	4 VA	
	CV21	5 A		2-2.7-3.3-4-5-6.7-10 A	3 VA	

3. Control power supply
Use an AC-DC converter or a DC-DC converter.
4. The unit size of the TBB3W relay is 2/3 that of the W4 standard relay case, while the ATT4W is 1/3. Therefore, a standard relay case can contain one each of the unit TBB3W and ATT4W, or 3 units of the ATT4W.
5. The burden of the ATT4W specified above is the value when the secondary circuit of the ATT4W is opened, that is, the load is at the maximum.

III. OPERATION

Fig. 1 shows the external connections among the current transformers (CT_1 , CT_2), the ATT4W input transducers and the TBB3W relay, for one phase.

The ATT4W input transducer is provided with two auxiliary CT's for each phase, one for producing the scalar sum of feeder currents and one for producing the vector sum of feeder currents.

The vector current sum or the differential current is used as an operating quantity, while the scalar current sum is used as a restraining quantity.

Non-linear resistors, which are connected across the secondary windings of the auxiliary CT's, prevent overvoltage induced by the open-circuit of the secondary. Therefore, the secondary circuit of the ATT4W transducer can be changed freely depending on the state of the line switches.

Fig. 2 shows a block diagram of the TBB3W relay.

The TBB3W relay has two elements for each phase, a ratio differential element and an overcurrent element.

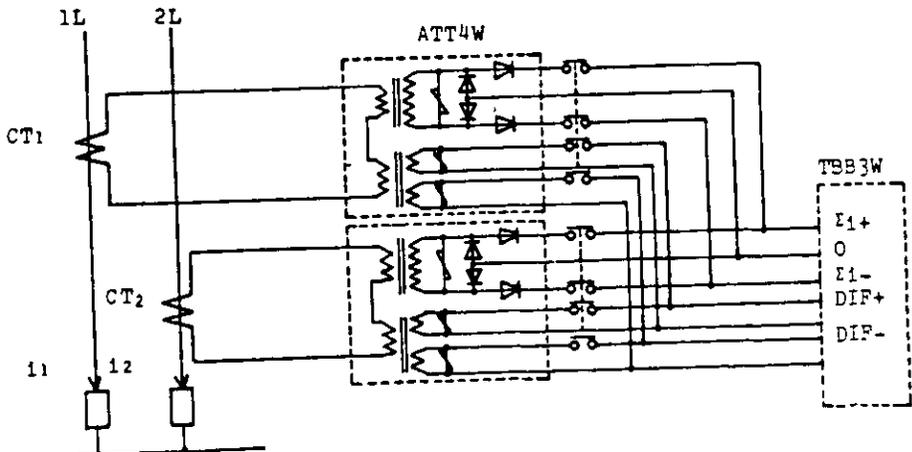


Fig. 1 AC External Connections

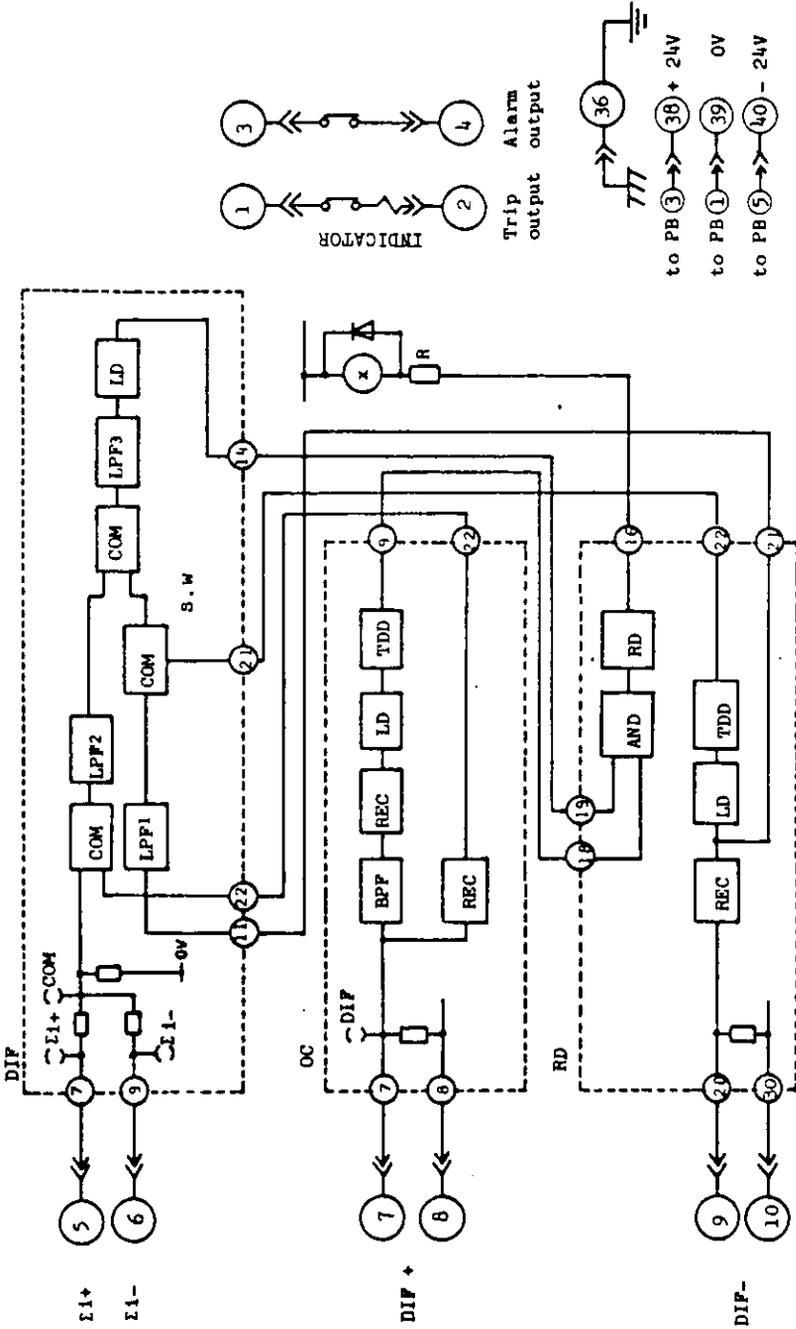


Fig. 2 Block Diagram of the TRB3W-TU5S

- Note 1. Indicator not provided for the form TU5G.
2. This block diagram shows the first phase only. (For the terminal configuration, refer to the following table,)

Table 3 Terminal Configuration for the TBB3W

		1st phase	2nd phase	3rd phase
Contact output for tripping		(1) - (2)	(11) - (12)	(21) - (22)
Contact output for alarm		(3) - (4)	(13) - (14)	(23) - (24)
ΣI^+		(5)	(15)	(25)
ΣI^-		(6)	(16)	(26)
DIF ⁺		(7) - (8)	(17) - (18)	(27) - (28)
DIF ⁻		(9) - (10)	(19) - (20)	(29) - (30)
	P		(28)	
Control power supply	OV		(39)	
	N		(40)	

Note: Make the following external connections to prevent maloperation in case of drawing the TBB3W out of the relay case.

(5) - (31), (6) - (32), (15) - (33), (16) - (34).

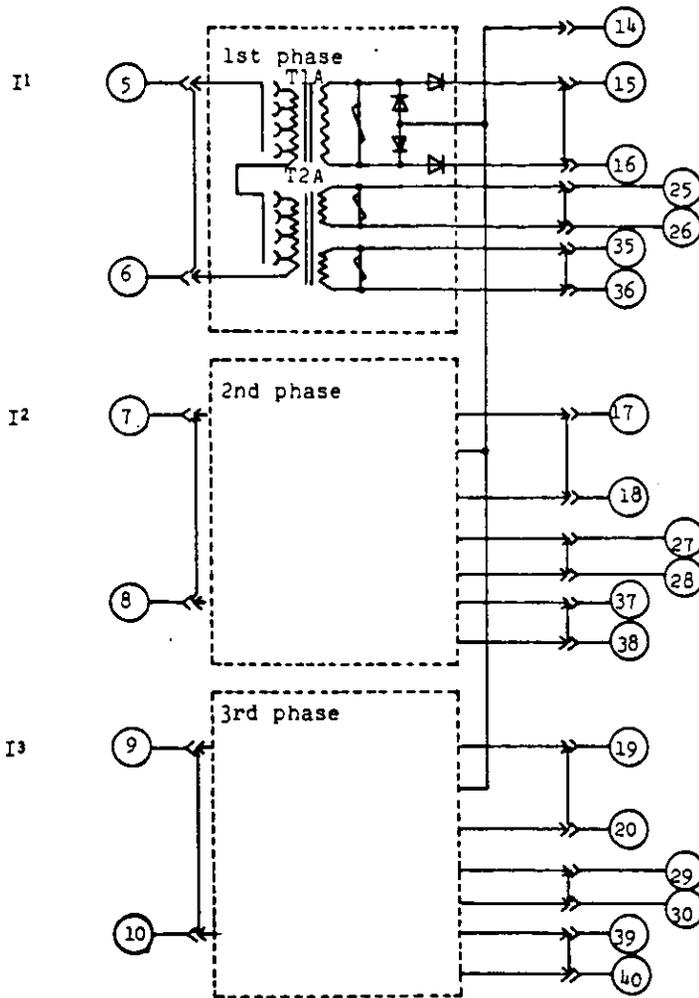


Fig. 3 Connection Diagram of the ATT4W

Note: This is exclusively for the form CV11 or CV21.

First of all, description is given of the ratio differential element.

The vector sum of the secondary currents of the ATT4W input transducers connected to each of the feeders is introduced to the TBB3W relay where it is full wave rectified and smoothed through a low pass filter (LFP₁) to provide an operating quantity.

The scalar sum of the secondary currents of the input transducers is introduced to the relay separately in a positive half-wave current sum (I_i^+) and negative half-wave current sum (I_i^-).

These two current sums are combined together in the relay to form a full-wave rectified current signal which is used as the first restraining quantity.

On the other hand, the vector sum introduced to the relay through another circuit, and after being full-wave rectified, is used as the second restraining quantity. These are composed to obtain a synthetic restraining quantity.

From the above-mentioned operating quantity and the synthetic restraining quantity, a control quantity is produced by the following equation:

Control quantity = Operating quantity - Synthetic restraining quantity.

The control quantity is smoothed through a low pass filter (LFP₃) and discriminated by a level detector (LD) to determine the output of the ratio differential element.

In the above-mentioned circuit, control quantity is produced when operating quantity is above a predetermined value to avoid the influence of the error current under the normal input condition.

Now, the following gives a description of the overcurrent element.

The vector sum current is introduced through a band pass filter to eliminate the higher harmonic and DC components.

The fundamental-frequency component is full-wave rectified and discriminated by a level detector to determine the output of the overcurrent element. The tap value of the relay depends on the overcurrent element. If these two elements, the ratio differential element and the overcurrent element, operate at the same time, or an AND condition develops between them, an auxiliary relay is energized to close two pairs of contacts. The TBB3W and ATT4W include circuits for all three phases.

Typical phase characteristics and ratio characteristics of the TBB3W relay are shown in Fig. 4 and Fig. 5. The operating time of the relay is within 18 ms, when the current increases rapidly from 0 to 3 times as large as the tap value.

The operating time characteristics are shown in Fig.6.

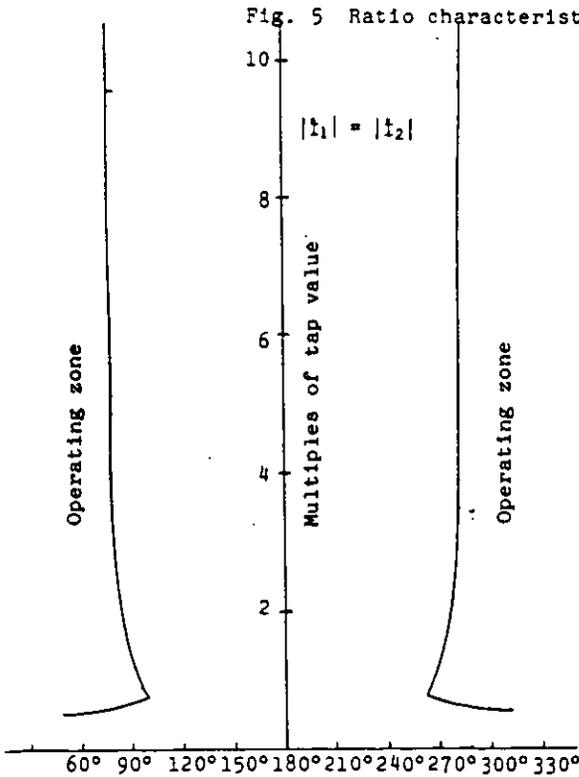
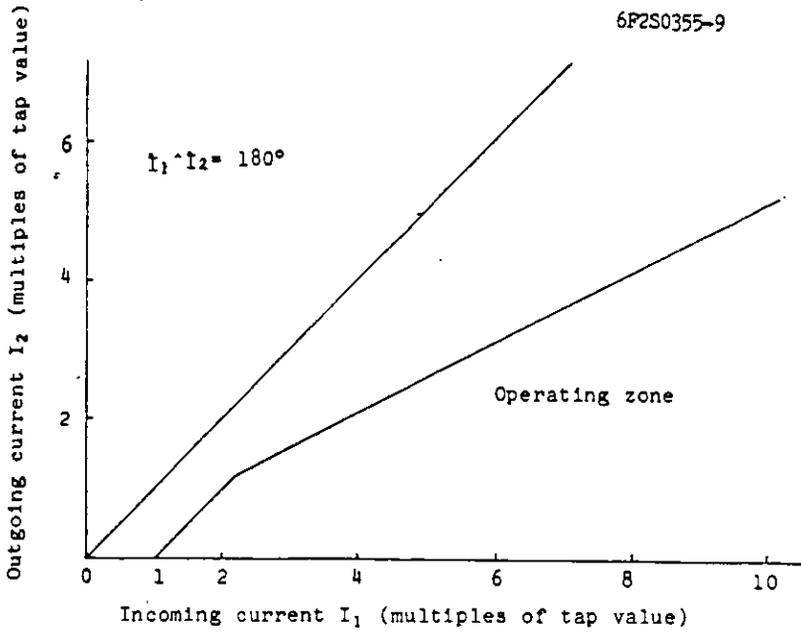


Fig. 4 Phase characteristics

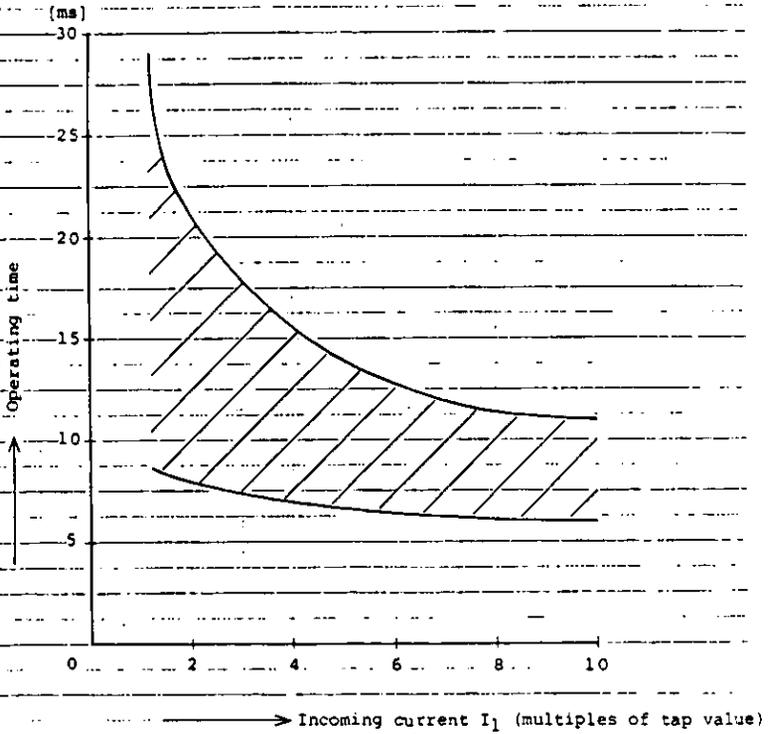


Fig.6-Operating time characteristics

IV. APPLICATION

In the application of the TBB3W relay, the following should be considered.

1. CT ratio:

When CT's of different current ratio are used, current matching must be effected by adjusting the taps of the respective transducers.

Matching condition:

Setting tap value X CT ratio = constant

Note: Sensitivity of the relay must be considered in determining the matching condition.

2. Minimum fault current I_{min} can be expressed by:

$$I_{min} = (1 + 0.01n) \cdot \frac{1}{\frac{C_1}{N_1 \cdot K_1} + \frac{C_2}{N_2 \cdot K_2} + \dots + \frac{C_n}{N_n \cdot K_n}}$$

where n : Number of feeders

$C_1 \sim C_n$: Shunt current ratio of each feeder.

$N_1 \sim N_n$: Current ratio of each CT.

$K_1 \sim K_n$: Tap setting of each ATT4W.

The following relationship is obtained from the matching condition.

$$N_1 \cdot K_1 = \dots = N_n \cdot K_n, \quad C_1 + \dots + C_n = 1.$$

Therefore, $I_{min} = (1 + 0.01n) \times N_1 \cdot K_1$.

Maximum number of feeders is 26.

Here the sensitivity of the relay decreases by approximately 25%.

3. CT Specifications

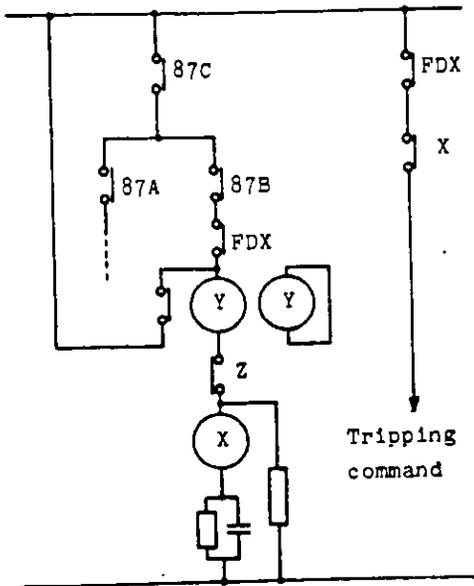
Overcurrent due to an external fault will cause magnetic saturation of the CT's.

To prevent maloperations of the relay due to the CT saturation, the following conditions must be satisfied.

- (1) Rated CT burden > Actual CT burden
- (2) Rated CT current X Overcurrent constant factor > Maximum CT current
- (3) $\frac{\text{Rated CT burden}}{\text{Actual CT burden}} \times \frac{\text{Rated CT current} \times \text{Over current const. factor}}{\text{Maximum CT current}} >$
- (4) CT's do not saturate with short-circuit current of less than 5 times that of the sensitivity current of the TBB3W relay.

4. Standard Tripping Sequence

The TBB3W is a high-speed relay. To provide a tripping command from the relay system within 2 cycles, such tripping sequences as shown in the following figure is required.



- 87A, 87B: Busbar protective relay for each busbar zone.
- 87C: Busbar protective relay for both busbar zones.
- FDX: Fault detector
- X : Multi-contact auxiliary relay.
- Y : Hold-in relay.
- Z : Relay contact for automatic reset of tripping command.

Fig. 7 Standard Tripping Sequence

V. EXTERNAL CONNECTION

The diagram giving connections between the ATT4W input transducers and the TBB3W relay is shown in Fig. 8.

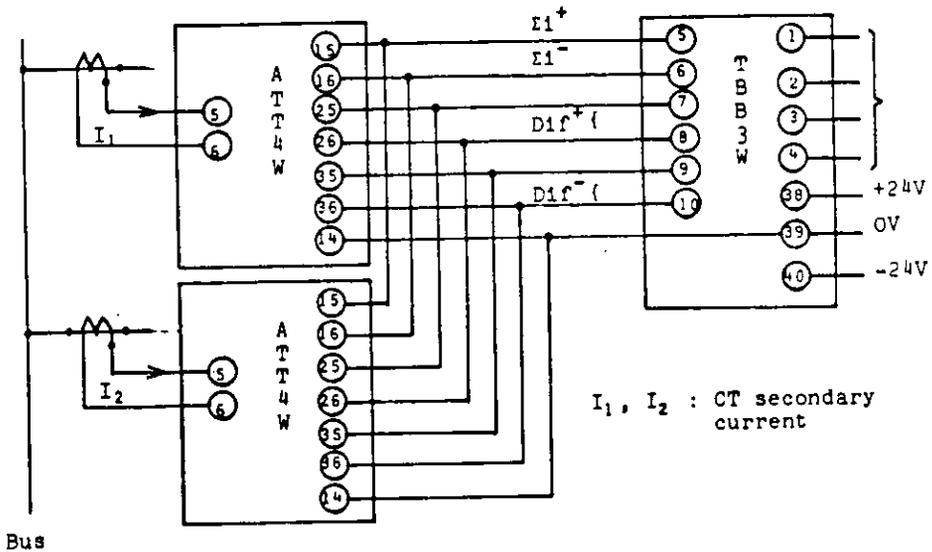


Fig. 8 External Connections between TBB3W and ATT4W

Fig.8 is for the first phase.

For other phases, refer to Table 4. For the terminal configuration of the TBB3W and the ATT4W, refer to Fig. 2 and Fig. 3.

Table 4 Interconnections between ATT4W and TBB3W

	First phase				Second phase				Third phase												
	$\Sigma 1 + \Sigma 1 -$	0	DIF+	DIF-	$\Sigma 1 +$	$\Sigma 1 -$	0	DIF+	DIF-	$\Sigma 1 + \Sigma 1 -$	0	DIF+	DIF-								
ATT4W	(15)	(16)	(14)	(25)	(26)	(35)	(36)	(17)	(18)	(27)	(28)	(37)	(38)	(19)	(20)	(14)	(29)	(30)	(39)	(40)	
ABB3W	(5)	(6)	(39)	(7)	(8)	(9)	(10)	(15)	(16)	(39)	(17)	(18)	(19)	(20)	(25)	(26)	(39)	(27)	(28)	(29)	(30)

1. Up to 26 of the ATT4W input transducers can be connected in parallel.
2. The secondary circuit of the ATT4W can be changed, if necessary, depending on the state of the line switches.
The circuit change is made by switching the contacts inserted in the connections as shown in Fig.3 , but caution must be exercised to prevent the formation of a loop circuit.
3. Since the circuits between the ATT4W and TBB3W transmit analog signals, care must be taken to avoid both the use of unnecessarily long wiring or the addition of other circuitry that would introduce noise.
4. The ATT4W is provided with short circuit mechanisms. Therefore, the CT secondary circuits are not opened, even if the ATT4W is drawn out of the relay case.
5. When the TBB3W is drawn out of the relay case, the following connections between the relay terminals are necessary to prevent maloperations.

⑤ - ③① , ⑥ - ③② , ⑮ - ③③ , ⑯ - ③④ .

VI. ADJUSTMENT and TESTING

The ATT4W and TBB3W are thoroughly tested before delivery, therefore adjustment on site is virtually unnecessary.

When setting the tap of the ATT4W, take care not to open the secondary of the main CT, by using a spare tap plug and disconnecting the previous tap plug after a new setting is completed.

At the same time, the relay output must be trip-locked. During a test, the following items should be observed.

		Reason
Precautions	Do not directly connect an instrument to an internal elements, only to the test terminals of I/O terminals.	A direct connection may defect the relay performance.
	Use a nearly sinusoidal alternating current (with a max. of 10% distortion) of rated frequency.	Distorted current will increase the measurement errors.
	Use a stabilized DC power supply with small voltage ripple.	A large ripple may cause abnormal operation. If the attached power supply is used, there should be no trouble. When another power supply is used, ensure that it is within $\pm 10\%$ of the rated voltage.
Prohibited	Never connect the DC power in the reverse polarity.	A reverse connection may cause damage to the internal components.

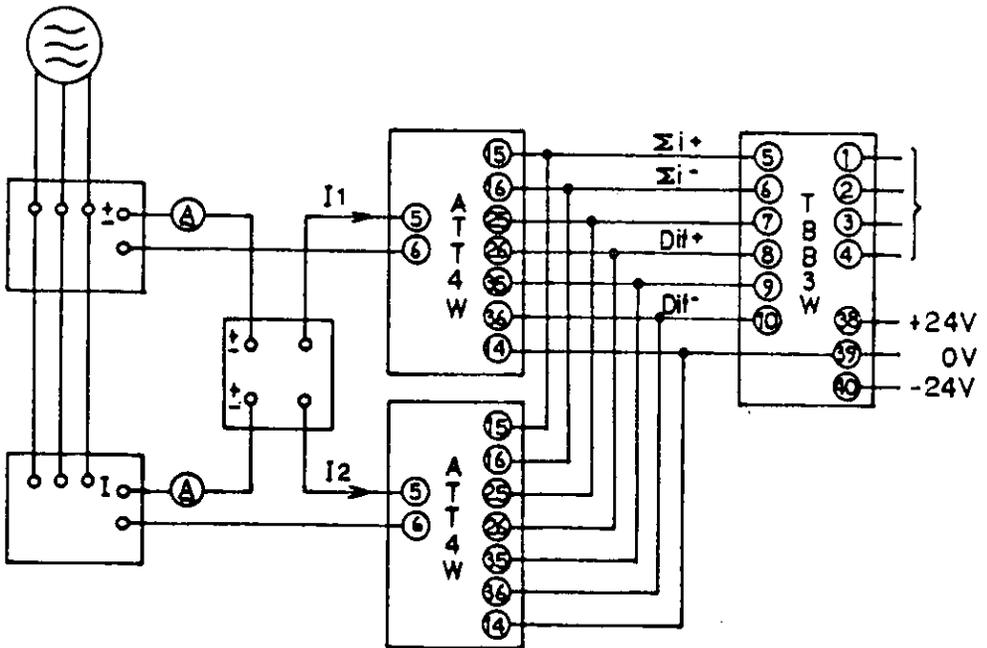


Fig. 9 Test Circuit

1. Test circuit

Fig. 9 shows an assembly test circuit for the TBB3W and ATT4W.

The test is carried out as a rule for 2 feeders.

The test must be executed respectively for each phase.

The standard periodical test items are shown below.

2. Minimum operating current test

Pass a suitable current through one of the ATT4W transducers in order to measure the boundary operating current for closing the auxiliary output relay contacts.

3. Phase characteristic test

By changing the phase angle between current \dot{I}_1 and \dot{I}_2 , while keeping the current value of \dot{I}_1 equal to that of \dot{I}_2 , measure the boundary operating phase angle for closing the auxiliary output relay contacts.

4. Ratio characteristic test

By changing the current value of \dot{I}_1 and \dot{I}_1 , while keeping the phase angle between \dot{I}_1 and \dot{I}_1 at 180° , measure the boundary operating current for closing the auxiliary output relay contacts.

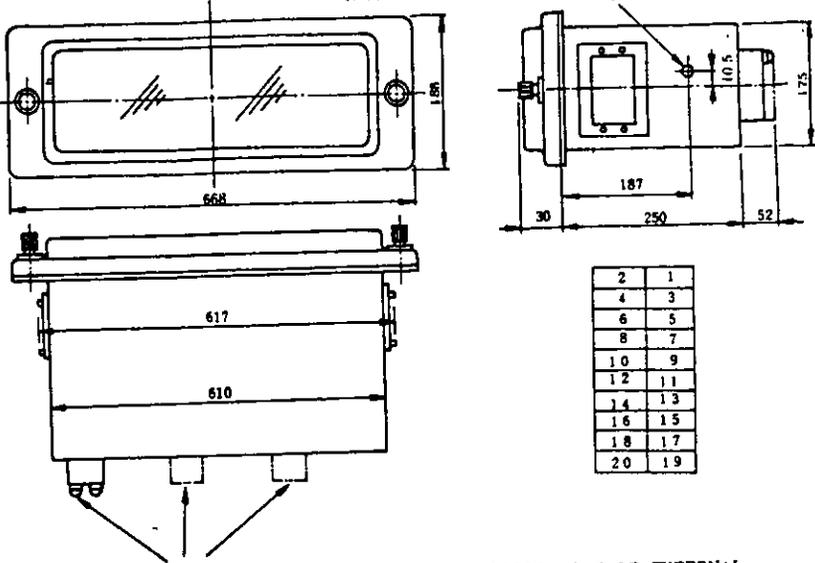
5. Operating time test

Provide a current to one of the ATT4W transducers, and measure the time until the auxiliary output relay contacts are closed.

Note: In a relay system, the number of ATT4W transducers is usually much larger than that of the TBB3W relays, therefore it takes a long time to conduct the above test for all of the ATT4W transducers.

However, since the ATT4W transducer consists primarily of auxiliary CTs, only the minimum operating current test is sufficient to test the individual ATT4W.

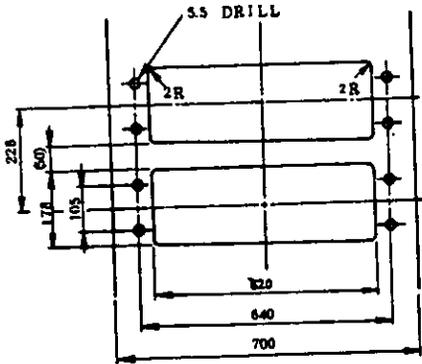
7 DRILL 2 HOLES
(FITTING HOLES FOR FRAME)
(FOR REINFORCEMENT)



EXTERNAL TERMINALS (M4 SCREW)

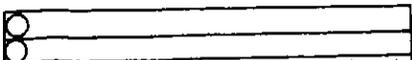
DISPOSITION OF EXTERNAL TERMINALS

(THE PERSPECTIVE DRAWING FROM FRONT OF THE RELAY)



PANEL DRILLING FOR FLUSH MOUNTING

FIG-10 OUTLINE AND PANEL DRILLING


 (1) OCT-29-71 ADD DESCR P-3. ADD P-11(Fin 6) 2 Yards from PL 5

APPROVED BY	CHECKED BY	DRAWN BY
S. Sanyal	g. Okita	M. S. Jha
SEP - 7 - 81	SEP - 7 - 81	SEP - 7 - 81
REGISTERED	107	10